

UNIVERSIDAD DE LA SABANA



Facultad de Ingeniería

Maestría en Gerencia de Ingeniería

**TRANSFORMACIÓN DEL ENVASE DE AGUA EMBOTELLADA UTILIZANDO
ECOVIO® EN COLOMBIA**

CAROLINA JIMÉNEZ PEÑA

Área de Ingeniería

Ingeniería Química

Gerencia de Ingeniería

Chía, 24 de agosto de 2017

Documento Final

**TRANSFORMACIÓN DEL ENVASE DE AGUA EMBOTELLADA UTILIZANDO
ECOVIO® EN COLOMBIA**

CAROLINA JIMÉNEZ PEÑA

Director de Proyecto

William Ángel Salazar Pulido, PhD

Facultad de Ingeniería

Maestría en Gerencia Ingeniería

Chía, 24 de agosto de 2017

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. PROBLEMA	18
2.1 CONTEXTO GENERAL.....	18
2.2 CONTEXTO PARTICULAR	18
2.3 UBICACIÓN DEL PROBLEMA	20
2.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
2.5 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	21
3. JUSTIFICACIÓN	21
4. OBJETIVOS	24
4.1 OBJETIVO GENERAL	24
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
5. MARCO TEÓRICO	25
5.1 MARCO CONCEPTUAL.....	25
5.1.1 EL PLÁSTICO	25
5.1.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS RESINAS PS, PP Y PET.....	25
Caracterización y propiedades del Poliestireno (PS)	25
Caracterización y propiedades del Polipropileno (PP).....	26
Caracterización y propiedades del Polietilentereftalato (PET)	27
5.1.1.2 RECICLAJE DEL PLÁSTICO	27
Impactos potenciales del proceso de reciclaje del plástico	31
5.1.1.3 IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS.....	32
5.1.1.4 DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y RESIDUOS PLÁSTICOS EN COLOMBIA.....	34
5.1.2 EL ECOVIO®.....	36
5.1.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL ECOVIO® T 2308 Y ECOCIVIO® F2224	36
Caracterización y propiedades del Ecovio® T2308.....	36
Caracterización y propiedades del Ecovio® F2224	37

5.1.2.2. PROCESAMIENTO DEL ECOVIO® T 2308 Y ECOVIO® F2224.....	38
Proceso de termoformado para vasos con Ecovio® T2308	38
Proceso de blow-molding para botellas con Ecovio® F2224	41
5.1.2.3. COMPOSTAJE Y DISPOSICIÓN DEL ECOVIO®	43
5.2 ESTADO DEL ARTE.....	46
5.2.1 TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL CONTEXTO NACIONAL	46
5.2.2 TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL.....	48
5.2.2.1 ANÁLISIS DE BIODEGRADABILIDAD, COMPOSTABILIDAD Y CICLO DE VIDA DE BIOPOLÍMEROS	48
5.2.2.2. SUSTITUCIÓN DE PLÁSTICOS Y EVALUACIÓN DE BIOPOLÍMEROS EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA	51
5.3 MARCO NORMATIVO.....	52
5.3.1 MARCO JURÍDICO NACIONAL	52
5.3.2 NORMAS DE COMPOSTABILIDAD Y BIODEGRADABILIDAD	54
6. METODOLOGÍA.....	56
6.1 PRIMERA PARTE	58
6.2 SEGUNDA PARTE	59
6.3 TERCERA PARTE.....	61
7. RESULTADOS	63
7.1 PRIMERA PARTE	63
Caracterización comparativa del uso del envase tradicional de plástico y el envase de Ecovio®	63
7.2 SEGUNDA PARTE.....	70
Estructuración del proceso de transformación del envase de agua en Colombia por un envase hecho de Ecovio®. Modelo de dinámica de sistemas.....	70
7.2.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES	70
7.2.2 RELACIONES DE CAUSALIDAD.....	71
7.2.3 ANÁLISIS DE ENTRADA	74
7.2.4 APROXIMACIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO.....	77

7.2.5 SIMULACIÓN Y RESULTADOS	79
7.3 TERCERA PARTE.....	84
Diseño del modelo de negocio para el envase de agua hecho con Ecovio® en Colombia	84
7.3.1 CONTEXTO ESTRATÉGICO	84
Tendencias de la industria.....	84
Cinco fuerzas de Porter	86
Matriz SWOT.....	89
Benchmarking	92
7.3.2 FORMULACIÓN Y SELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA	97
7.3.3 MODELO DE NEGOCIO: CANVAS.....	103
Clientes.....	104
Propuesta de valor	105
Canales	107
Relación con clientes.....	107
Fuentes de ingreso.....	108
Recursos clave.....	108
Actividades clave	109
Asociaciones clave	110
Estructura de costos.....	111
7.3.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL MODELO.....	111
Consideraciones generales	111
Costos generales por implementación de las estrategias.....	113
Costos de investigación y desarrollo.....	114
Costos de comercialización y marketing.....	114
Ingresos	115
Balance general, P&G y Flujo de caja libre del proyecto	117
VPN, TIR y WACC	119

Análisis de sensibilidad frente a escenarios de ingresos	119
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	122
CONCLUSIONES	122
RECOMENDACIONES	124
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
10. ANEXOS	132
Anexo 6. Entrevistas a expertos realizadas durante la investigación.....	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades del Poliestireno (PS).....	25
Tabla 2. Propiedades del Polipropileno (PP).....	26
Tabla 3. Propiedades del Polietilentereftalato (PET).....	27
Tabla 4. Propiedades básicas del Ecovio® T2308 (BASF Biodegradable Polymers, 2015). ...	37
Tabla 5. Propiedades de una lámina de Ecovio® T2308 de 1 mm de espesor (BASF Biodegradable Polymers, 2015).....	37
Tabla 6. Propiedades básicas del Ecovio® F2224. (BASF SE, 2016)	38
Tabla 7. Propiedades de una lámina de Ecovio® F2224 de 50 µm de espesor. (BASF SE, 2016)	38
Tabla 8. Aplicaciones del PLA en industria de alimentos. (Elaboración propia basado en (Peelman et al., 2013)).....	51
Tabla 9. Decretos, leyes y resoluciones principales en el tema de manejo de residuos y residuos plásticos en Colombia. (Elaboración propia).....	54
Tabla 10. Matriz de desarrollo de objetivos. (Elaboración propia).	57
Tabla 11. Propiedad de barrera al vapor de agua del PET, PP, PS, Ecovio® F2308 y F2224. (Elaboración propia)	65
Tabla 12. Propiedad de barrera al oxígeno del PET, PP, PS, Ecovio® F2308 y F2224. (Elaboración propia)	66
Tabla 13. Matriz comparativa de PS, PP, PET, Ecovio® F2308 y Ecovio® F2224. (Elaboración propia)	68
Tabla 14. Variables del sistema. (Elaboración propia)	70
Tabla 15. Tasas, parámetros y niveles del sistema. (Elaboración propia).	76
Tabla 16. Resultados obtenidos. (Elaboración propia)	80
Tabla 17. Acumulación de PET en vertederos para escenario negativo (Malta, tasa de reciclaje: 13%) y escenario positivo (Noruega, tasa de reciclaje: 40%), comparado con escenario base en el caso Colombiano (kg bn). (Elaboración propia).....	83
Tabla 18. Benchmarking de envases biodegradables para alimentos en Colombia. (Elaboración propia, basada en (Sisduan Colombia, 2016a) e información directa de las empresas)	94
Tabla 19. Escala de pesos para evaluación AHP. (Elaboración propia basado en (Hadad, 2015))	97
Tabla 20. Estrategias planteadas para la transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia)	98
Tabla 21. Evaluación de criterios de acuerdo con la metodología AHP. (Elaboración propia)	99
Tabla 22. Resultado de peso obtenido para todas las estrategias planteadas bajo el criterio de rentabilidad. (Elaboración propia)	100
Tabla 23. Resultado de peso obtenido para todas las estrategias planteadas bajo el criterio de operación. (Elaboración propia).....	100
Tabla 24. Resultado de peso obtenido para todas las estrategias planteadas bajo el criterio de sostenibilidad. (Elaboración propia)	101
Tabla 25. Resultado de peso obtenido para todas las estrategias planteadas bajo el criterio de aceptación del cliente final. (Elaboración propia)	101

Tabla 26. Score total de cada estrategia evaluada y estrategias elegidas para la propuesta de valor del modelo de negocio de la transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia)	102
Tabla 27. Análisis de beneficios sociales, ambientales y económicos de las estrategias planteadas para la propuesta de valor. (Elaboración propia)	105
Tabla 28. Consideraciones generales utilizadas en la evaluación económica de la transformación del envase de agua en Bogotá D.C. (Elaboración propia basada en (Banco de la República, 2017), (Broseta, 2017), (ANLA, 2013), (Sanchez Ruiz, 2013))	112
Tabla 29. Costos generales por implementación de las estrategias y costos de optimización de rutas. (Elaboración propia basada en (Ministerio de Transporte, 2010), (ANLA, 2013), (Sanchez Ruiz, 2013)).....	113
Tabla 30. Costos de investigación y desarrollo. (Elaboración propia)	114
Tabla 31. Costos de comercialización y marketing. (Elaboración propia)	114
Tabla 32. Bases de cálculo utilizadas para definir los ingresos del proyecto. (Elaboración propia basada en (Euromonitor International, 2017b), (Pérez, 2005))	115
Tabla 33. Ingresos del proyecto basados en supuestos de ventas anuales. (Elaboración propia)	115
Tabla 34. Balance general para el piloto de transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia con Simulador de Negocios)	117
Tabla 35. P&G para el piloto de transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia con Simulador de Negocios).....	118
Tabla 36. Flujo de caja para el piloto de transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia con Simulador de Negocios)	118
Tabla 37. Flujo de caja neto para el período de evaluación del proyecto. (Elaboración propia con Simulador de Negocios).....	119
Tabla 38. Indicadores de evaluación del proyecto de transformación de agua en Colombia. (Elaboración propia)	119
Tabla 39. Escenarios planteados para análisis de sensibilidad. (Elaboración propia).....	120
Tabla 40. Análisis de sensibilidad para VPN. (Elaboración propia con Simulador de Negocios)	120
Tabla 41. Análisis de sensibilidad del escenario pesimista considerando arriendo del precio en vez de compra. (Elaboración propia con Simulador de Negocios).....	121
Tabla 42. Peso de botella de agua utilizado en modelo propuesto. Elaboración propia basado en (NAPCOR, 2010).....	136
Tabla 43. Información de precios de agua embotellada en Colombia en 2016. (Euromonitor International, 2017b).....	137
Tabla 44. Billones de kg (Millones de toneladas) de PET en vertederos en Colombia para los años 2012-2014. Elaboración propia basada en (DANE, 2016), (UAESP & JICA, 2013) y (Aluna Consultores Limitada, 2011).....	137
Tabla 45. Billones de kg de PET en vertederos en Colombia para los años 2012-2014 según simulación del modelo propuesto. Elaboración propia basada en modelo Vensim®.....	138
Tabla 46. Cuadro de costos y gastos fijos del proyecto. (Elaboración propia en Simulador de Negocios)	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Recuperación de plásticos en Europa en el año 2014. (Prieto Cruz et al., 2016).....	28
Figura 2. Proyección del comportamiento de la industria y residuos plásticos en el mundo para el año 2050. (Ellen MacArthur Foundation et al., 2016).....	33
Figura 3. Esquema de oferta y demanda de residuos sólidos en Colombia. Elaboración propia basada en (DANE, 2016).	35
Figura 4. Composición de los residuos sólidos en Bogotá D.C. (UAESP & JICA, 2013).....	36
Figura 5. Extrusora para la formación de láminas de biopolímero, integrada al proceso de termoformado posterior. Adaptación propia basada en (Rosen, 2002).	38
Figura 6. Sistema de vacío de la máquina de termoformado para la producción de vasos. Elaboración propia basada en (Rosen, 2002).....	39
Figura 7. Sistema de presión de la máquina de termoformado para la producción de vasos. Elaboración propia basada en (Rosen, 2002).....	40
Figura 8. Concepto general del moldeo por soplado hecho por extrusión. (Ministerio de Ambiente, 2004)	41
Figura 9. Concepto general del moldeo por soplado hecho por inyección. (Ministerio de Ambiente, 2004).	42
Figura 10. Máquina de blow molding por inyección, multi estaciones rotativas. Adaptación propia basada en (Selke et al., 2016)	42
Figura 11. Cadena de disposición y compostaje para plásticos. Elaboración propia basada en (Vaverková et al., 2014).....	45
Figura 12. Degradación del Ecoflex® (BASF, 2011).....	45
Figura 13. Desintegración del Ecovio® en condiciones de compostaje. (BASF, 2011)	46
Figura 14. Diagrama de modelo de manejo de residuos sólidos. Elaboración propia basada en (Ibarra et al., 2011).....	47
Figura 15. Biodegradación de botellas de PLA utilizadas como envase de agua mineral en condiciones de compostaje. (Kale et al., 2007)	50
Figura 16. Normas de compostabilidad y biodegradabilidad para Ecovio®. (Cerqueira, 2016)	55
Figura 17. Metodología desarrollada para construir la transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia).....	56
Figura 18. Subcategorías por comparar entre los plásticos tradicionales utilizados como envase de agua y el Ecovio®. (Elaboración propia).....	58
Figura 19. Empaques biodegradables hechos con Ecovio®. (BASF SE & Duric, 2014)	64
Figura 20. Diagrama de Ishikawa de impactos socioeconómicos y ambientales de los plásticos. (Elaboración propia)	69
Figura 21. Ciclo de vida básico de las botellas de agua de plástico o Ecovio®. (Elaboración propia)	70
Figura 22. Relaciones de causalidad del sistema actual de disposición de botellas de agua en Colombia. (Elaboración propia).....	73

Figura 23. Relaciones de causalidad del sistema de disposición de botellas de agua en Colombia si se hace el reemplazo del envase de plástico tradicional por uno hecho con Ecovio®. (Elaboración propia).....	74
Figura 24. Modelo de Vensim® del sistema actual de disposición de botellas de agua en Colombia. (Elaboración propia).....	75
Figura 25. Modelo de Vensim® del sistema de disposición de botellas de agua en Colombia si se hace el reemplazo del envase de plástico tradicional por uno hecho con Ecovio®. (Elaboración propia)	75
Figura 26. Valores reales y simulados de PET acumulado en vertederos en Colombia. (Elaboración propia)	80
Figura 27. Gráficas de acumulación de PET en vertederos para a) sistema actual y b) sistema con Ecovio® (kg bn). (Elaboración propia).....	81
Figura 28. Gráficas de acumulación de PET en vertederos para escenario negativo (Malta, tasa de reciclaje: 13%) y escenario positivo (Noruega, tasa de reciclaje: 40%) (kg bn). (Elaboración propia).....	82
Figura 29. Resultados Vensim® para Acumulación de PET en vertederos para escenario negativo (Malta, tasa de reciclaje: 13%) y escenario positivo (Noruega, tasa de reciclaje: 40%), comparado con escenario base en el caso Colombiano (kg bn). (Elaboración propia)	83
Figura 30. Evolución del consumo de plásticos a nivel mundial, 1950-2014. (Ellen MacArthur Foundation et al., 2016)	85
Figura 31. Análisis de las cinco fuerzas de Porter para el Ecovio® como material del envase de agua embotellada en Colombia. (Elaboración propia).....	86
Figura 32. SOM agua embotellada en Colombia por compañía. (Elaboración propia, basado en (Euromonitor International, 2017a)).....	87
Figura 33. Análisis SWOT del Ecovio® como material de envase de agua embotellada en Colombia. (Elaboración propia).....	89
Figura 34. Comportamiento del mercado de agua en Colombia, 2002-2016. (Elaboración propia basado en (Euromonitor International, 2017b)).....	90
Figura 35. Agua Biota, envasada en botella biodegradable y compostable con resina NatureWorks™ PLA. (Teconología del Plástico, 2005)	93
Figura 36. Foto de productos Ecogreen, Feria Verde, Bogotá, febrero 17 de 2017. (Elaboración propia).....	95
Figura 37. Productos desechables ItGreen. (ItGreen Colombia Soluciones Ambientales, n.d.-b)	95
Figura 38. Agua personalizada ItGreen. (ItGreen Colombia Soluciones Ambientales, n.d.-a)	96
Figura 39. Productos Proplanet. (Proplanet SAS, 2017)	96
Figura 40. Vaso GeoPack, Multidimensionales Colombia. (Grupo Phoenix Colombia - Multidimensionales, n.d.-a)	96
Figura 41. Línea GeoPack, Multidimensionales Colombia. (Grupo Phoenix Colombia - Multidimensionales, n.d.-b)	97
Figura 42. Jerarquía para estrategias en la transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia)	99
Figura 43. Modelo de negocio CANVAS para la transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia).....	103

Figura 44. Ingresos versus costos totales del proyecto. (Elaboración propia con Simulador de Negocios)	116
Figura 45. Información del tamaño de mercado de agua embotellada en Colombia del año 2002-2016. (Euromonitor International, 2017b).....	132
Figura 46. Análisis estadístico de bondad de ajuste mediante prueba Anderson-Darling para mercado de agua embotellada en Colombia. (Elaboración propia en software Minitab®).....	132
Figura 47. Prueba de normalidad para mercado de agua embotellada en Colombia. (Elaboración propia en software Minitab®)	133
Figura 48. Interés en temas de reciclaje en Colombia para los años 2012- 2016. Elaboración propia basada en (Google Trends, 2017)	134
Figura 49. Análisis estadístico de bondad de ajuste mediante prueba Anderson-Darling para interés de conciencia ambiental. (Elaboración propia en software Minitab®).....	134
Figura 50. Prueba de normalidad para interés en conciencia ambiental en Colombia. (Elaboración propia en software Minitab®)	135
Figura 51. Parámetros de Conciencia ambiental introducidos al modelo propuesto. (Elaboración propia)	135
Figura 52. Billones de kg de PET en vertederos en Colombia para los años 2012-2014 resultados directos de Vensim®. Elaboración propia basada en modelo Vensim®.....	138
Figura 53. Resultados de prueba T-Student para diferencia de medias de datos reales calculados y datos obtenidos mediante a simulación del modelo propuesto. (Elaboración propia basada en el software Minitab®)	138

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Consumo de agua en Colombia:.....	132
Anexo 2. Validación de resultados	137
Anexo 3. Evaluación de las estrategias planteadas para la transformación del envase de agua en Colombia mediante AHP	138
Anexo 4. Referencial para fijación de precios de productos	142
Anexo 5. Cuadro de costos y gastos fijos	143
Anexo 6. Entrevistas a expertos realizadas durante la investigación.....	143

RESUMEN

En la actualidad el consumo de agua embotellada en el mundo crece exponencialmente, en Colombia este mercado presentó un crecimiento total de 19,6 % entre 2010 y 2015 (Euromonitor International, 2016b). Este fenómeno, sumado a la tendencia de alimentación saludable y cuidado del medio ambiente, hacen que sea propicio evaluar alternativas al envase actual en que se comercializa el agua en Colombia. La alternativa escogida es el Ecovio®, un biopolímero desarrollado por BASF, el cual es compostable y biodegradable por la acción de microorganismos. En este trabajo, se estudió la posibilidad e impacto de realizar el reemplazo del envase actual de agua en botella por un envase hecho de Ecovio® en el contexto colombiano, se demostró cómo esta es una alternativa de alto impacto ambiental en el corto, mediano y largo plazo para reducir los residuos plásticos en el país. Se utilizó la gerencia de ingeniería para formular un modelo de ingeniería y se simuló el problema y su posible solución a través de la dinámica de sistemas. Se incluyó además la valoración del modelo de transformación propuesto.

ABSTRACT

The global consumption of bottled water is growing, in Colombia this market presented a total growth of 19.6 % between 2010 and 2015 (Euromonitor International, 2016b). This phenomenon, added to the health and wellness trend and the high care of the environment make a proper ambient to evaluate alternatives to the actual plastic container in which the water is commercialized in Colombia. The alternative chosen is Ecovio®, a biopolymer developed by BASF, which is biobased, compostable and completely biodegraded by microorganisms. In this paper, it was studied the feasibility of replacing the actual container of bottled water by a container made with Ecovio® in the Colombian context, demonstrating how this is a high impact alternative in a short, medium and long term to reduce the plastic residues in the country. Engineering Management was used to formulate an engineering model and the main problem, and its possible solution were simulated using System Dynamics. The economic analysis of the proposed transformation was also included.

Palabras clave: Agua embotellada – Ecovio® - Dinámica de sistemas – Biopolímero – Compostable - Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo existen dos tendencias en alza, la tendencia de la alimentación saludable y el bienestar y la tendencia de cuidado del medio ambiente. Estas tendencias están actualmente impulsando el crecimiento del consumo de agua embotellada como una de las bebidas no alcohólicas o *soft drinks* más populares en el mundo y Colombia no es la excepción. Sin embargo, con esta alza en el consumo de agua embotellada, crecen también los residuos de plástico en el sistema. En Colombia, el índice de recuperación de plástico se estima es del 27,5 % (Aluna Consultores Limitada, 2011) el resto, es llevado a rellenos sanitarios. Es una situación tan crítica el aumento de residuos plásticos en el país, que existen actualmente medidas como la Resolución 668 de 2016 que limita el uso de bolsas plásticas y pretende disminuirlo en un 60 % en los próximos años (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

Por otra parte, no es un secreto que los residuos plásticos no solo van a vertederos, sino también al medio ambiente y a fuentes hídricas. Se estima que haya actualmente más de 150 millones de toneladas de plástico en los océanos (Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum, & McKinsey Center for Business and Environment, 2016). El planeta necesita alternativas de cambio. Afortunadamente existen alternativas en el mundo para reemplazar los plásticos comunes por otros más amigables con el medio ambiente. Uno de estos es el Ecovio®, un biopolímero con base PLA (Ácido poliláctico, proveniente del maíz). Este producto es fabricado por BASF, la multinacional química más grande del mundo y empresa donde la investigadora hace parte por lo cual puede proyectar el modelo de transformación. Aprovechando este vínculo, se pretende analizar la cadena de valor de un envase (botella) de agua hecho con Ecovio® y entender así como podría llevarse a cabo el reemplazo del envase actual de agua embotellada por un envase hecho a partir de un biopolímero como el Ecovio®, el cual es certificado como compostable (BASF Biodegradable Polymers, 2016). Existen casos de éxito de reemplazo de productos hechos de plástico, por otros iguales o similares hechos con Ecovio®; sin embargo, nunca en Colombia se ha explorado esta posibilidad e incluso se dispone de poca información de aplicaciones de este material para la elaboración de botellas.

En este trabajo se pretende estudiar alternativas para mitigar el impacto ambiental de los residuos plásticos, específicamente aplicado al envase de agua en botella en Colombia, hecho de PET (Polietilenterftalato). Para esto, se utilizará la Ingeniería Química para comprender y analizar los materiales y procesos necesarios para la transformación, así como la gerencia de ingeniería para

construir un modelo de ingeniería completo para la transformación del envase de agua en Colombia. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo determinar el modelo de ingeniería para la transformación del empaque de plástico del agua embotellada a un envase más sostenible de Ecovio® en Colombia que permita disminuir los efectos contaminantes de los sistemas tradicionales.

Para ello, este trabajo se hizo en tres partes fundamentales. En primera instancia se utilizó la investigación descriptiva para caracterizar el uso del plástico y compararlo con el Ecovio®. Este proceso de caracterización se sintetizó en una matriz y su representación en un diagrama de pescado que permitió entender la problemática derivada del uso de los plásticos como envases y las ventajas de utilizar resinas biodegradables y compostables como el Ecovio®; todo basado en sus principales características de forma comparativa con los plásticos tradicionales como el PET, PS (Poliestireno) y PP (Polipropileno). En segunda instancia, se caracterizó el sistema por estudiar y se procesó en forma de dinámica (Dinámica de Sistemas). Allí se modeló cada elemento involucrado en el mercado de agua embotellada en Colombia y en la disposición de los residuos plásticos que se generan luego de su uso. Finalmente, se construyó el modelo de ingeniería para la transformación del envase de agua en Colombia. Se presentó una valoración de costos para calcular su viabilidad (utilizando indicadores de evaluación de proyectos como la TIR y el VPN) y se realizó un análisis del contexto estratégico utilizando diferentes herramientas como la investigación de tendencias de la industria, las cinco fuerzas de Porter, la matriz SWOT y el benchmarking.

2. PROBLEMA

2.1 CONTEXTO GENERAL

El mercado de las bebidas no alcohólicas o *soft drinks* en el mundo es de 670.000 millones de litros, siendo Norteamérica la región con mayor consumo *per cápita*, entre las bebidas más consumidas, se encuentran las gaseosas, el café y el agua en botella. En 2015, este mercado creció en 15,8 billones de litros, de los cuales 14,4 billones correspondieron a agua embotellada (Telford, 2016). En el periodo 2012-2016, el consumo de agua embotellada ha crecido de manera considerable y está desplazando a las bebidas gaseosas. Se estima que, en 65 de 80 mercados, el agua embotellada crece más rápido que todas las otras bebidas juntas o *soft drinks* (Euromonitor International, 2016a). Este mercado, está liderado en nivel mundial por Coca-Cola, Pepsi y Nestlé.

2.2 CONTEXTO PARTICULAR

En Colombia, el mercado de agua embotellada es de 950 billones de litros, correspondientes a 1.205 billones de pesos, este presentó un crecimiento de 19,6 % entre 2010 y 2015, Postobón S. A. y Coca-Cola lideran el mercado con un 89 % de participación; se espera que crezca con un CAGR sostenido del 2 % (Euromonitor International, 2016b), crecimiento principalmente ligado a la tendencia de salud y bienestar que viene creciendo en el país y a la urbanización, ligada a la vida más ocupada de la población que obliga a las personas a estar más tiempo fuera de casa. El crecimiento de este mercado puede amenazarse por los movimientos ambientalistas crecientes en el país, que impulsan la reducción de consumo de agua en botella para así reducir los residuos de plástico generados. Estos grupos son de la clase académicamente más ilustrada que son los mismos que han aumentado el consumo de agua embotellada lo que pone en sensible riesgo el consumo por este medio (Euromonitor International, 2016b).

Los problemas de sobrepeso motivan también el consumo de agua y en Colombia, tanto el sobrepeso como la obesidad aumentaron en niños y adolescentes un 29,5 % entre 2005 y 2010, y se estima que uno de cada dos colombianos presenta exceso de peso lo que motiva o estimula un mayor consumo de agua (ICBF, 2010). Por otra parte, las campañas y tendencias de salud pública para una vida más sana aumentan la conciencia para una educación alimentaria sana – eliminación de comidas chatarra, productos saturados de químicos, etc., hasta el punto en que el

81 % de los encuestados en un estudio de Nielsen asegura “ser lo que come”, razón por la cual, la preferencia por productos que les ayuden a prevenir problemas de salud es importante (Nielsen, 2015).

En otra perspectiva existe una tendencia creciente a nivel global y es el cuidado del medio ambiente y la conciencia ambiental; en este sentido, el uso de plásticos para envasar el agua está en contra de esa tendencia, por lo que el aumento de consumo de agua no es coherente con el uso de envases plásticos. Esto se puede ver en la actualidad en algunos parques naturales de Estados Unidos hasta el punto en que en la ciudad de San Francisco, se prohibió la venta de agua embotellada, debido al impacto ambiental que esto genera (Muñoz, 2016). El impacto ambiental en cuanto a huella de carbono de 1 kg de botellas de PET (aproximadamente 100 botellas de 500 ml) es de 4.74-6.36 kg CO₂eq/kg (Chen, Pelton, & Smith, 2016); así, una botella de PET tarda en degradarse hasta 500 años si no se recicla, conllevando también a pérdidas económicas (García Olivares, 2006)..

En consecuencia, es necesario armonizar las dos tendencias anteriores de consumo y conciencia ambiental, por lo que se hace necesario encontrar una alternativa que permita el uso o la utilización de otro material como reemplazo del envase actual de agua en botella utilizado en Colombia: esa posibilidad o alternativa puede ser el Ecovio®. Este material es un polímero desarrollado por la multinacional química BASF, es compostable, es decir, puede ser biodegradado por microorganismos, dejando como residuo final únicamente agua, CO₂ y biomasa y tiene un contenido variable de compuestos biobasados o hechos parcial o totalmente de materias primas renovables (BASF Biodegradable Polymers, 2016). Es un producto terminado, que puede utilizarse como materia prima en diferentes tipos de procesamiento de plásticos, como el termoformado y el blow molding.

Las ventajas de este material de acuerdo con BASF (2016) son muchas:

- No necesita ser mezclado con otros productos al momento de llevarlo al proceso deseado para el producto final (termoformado, moldeo por inyección, extrusión, recubrimiento para papel).
- Es 100 % compostable pues es degradado por microorganismos; en condiciones de una planta de compostaje industrial se degrada en tres a cuatro semanas.

- Está certificado por institutos independientes bajo estándares europeos, asiáticos y americanos - EN 13432, ASTM 6400, GreenPla- (BASF Biodegradable Polymers, 2016).
- Se puede utilizar en envases de alimentos: aprobado por la FDA y la comisión de regulación de la Unión Europea.
- Los productos de la biodegradación del Ecovio® son únicamente agua, CO₂ y biomasa. “El Ecovio® puede utilizarse de diferentes maneras, en bolsas de basura orgánica, bolsas de compras, películas mulch (para agricultura), recubrimientos de papel, películas de plástico, empaques tipo espuma (similares al icopor), empaques termoformados y aplicaciones de moldeo por inyección y blow molding.” (BASF Biodegradable Polymers, 2016).

2.3 UBICACIÓN DEL PROBLEMA

El centro de investigación para proyectar la utilización de este tipo de material para envasar el agua es la ciudad de Bogotá; aunque la información estadística del consumo está definida para toda Colombia y la simulación de dinámica de sistemas se realiza para todo el país, el estudio y análisis para estructurar la infraestructura de la planta de compostaje y elaborar el modelo económico se basa en su uso en Bogotá, de tal manera que este modelo permita luego ser transversal a otras zonas. De igual manera, una ciudad capital, por el alto consumo de agua es el centro representativo para su proyección en otros lugares del país, bien sea en capitales de departamento o en municipios.

2.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua envasada es tradicionalmente empacada en envases de plástico como vasos y botellas. Los plásticos más utilizados para empacar bebidas son el PET (Polietilentereftalato), el PP (Polipropileno) y el PS (Poliestireno) (Selke, Culter, Selke, & Culter, 2016). En el marco de un aumento de demanda de agua embotellada en Colombia, la cual se espera crezca con un CAGR (Compound Annual Growth Rate) de 5 % en volumen y 6 % en valor a precios del año 2016 (Euromonitor International, 2017), crecerá también la cantidad de botellas en el Sistema. En Colombia, el índice de recuperación de residuos plásticos se estima es del 27,5 % (Aluna Consultores Limitada, 2011), el resto, es llevado a rellenos sanitarios. Allí, una botella de PET puede demorar hasta 500 años si no se recicla (García Olivares, 2006). Solo en la ciudad de

Bogotá, se producen en promedio 6.308 toneladas de residuos sólidos al día (DNP, 2015), del cual aproximadamente el 18,7 % (Avendaño Acosta, 2015) o su equivalente a 1.180 toneladas provienen de residuos plásticos.

Los efectos del uso del plástico han sido ampliamente estudiados y se encuentra una amalgama de efectos de gran impacto tanto para el medio ambiente como para la vida de los humanos. Se requieren entre 3 y 5 litros de agua para fabricar una botella de agua, también se consume un galón de gasolina en promedio para el transporte de una botella de agua, lo que aumenta el CO₂ (Pacific Institute, 2007a, 2007b). El plástico libera gases tóxicos a la atmósfera y adicionalmente uno de los efectos más complejos es la contaminación de los mares a donde va a parar un porcentaje alto de los envases utilizados, lo que causa problemas de gran complejidad a la fauna marina y a las aves (Perdomo, 2002).

Lo anterior, hace necesario probar otras resinas para los envases de agua, resinas que puedan tener un menor impacto ambiental y que puedan ayudar a generar menos residuos en nuestro país, incluso ACOPLÁSTICOS sugiere como plan de acción para el manejo de estos residuos, la necesidad de estudiar “opciones alternas al reciclaje tanto en Colombia como en América Latina” (Prieto Cruz *et al.*, 2016). Es por esto que se sugiere el estudio del Ecovio® como alternativa de reemplazo y es debido a esto, que se estudiará con ayuda de la dinámica de sistemas, el impacto que puede traer en términos de disminuir los residuos plásticos en el sistema colombiano dicha implementación.

2.5 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las variables y características que permitan la elaboración de un modelo de ingeniería para transformar el sistema tradicional de envase plástico para agua embotellada por un plástico biodegradable y compostable con el uso de Ecovio® en Colombia?

3. JUSTIFICACIÓN

La creciente demanda de agua en botellas de PET genera un impacto ambiental alto. La tendencia de alimentación saludable impulsa este consumo cada día más en el mundo y en Colombia. Debido a esto, alternativas para el envase actual de plástico son necesarias para anticiparse y mitigar el impacto ambiental, es decir, soportar el crecimiento de este mercado de

una manera sostenible. El Ecovio® es un polímero ampliamente vendido por BASF en el mundo, sin embargo, en Colombia no se utiliza, lo que hace que investigar dichas alternativas con fines ambientales enfocados a disminuir los efectos del envase, especialmente de plástico, que tiene efectos de largo plazo, sea pertinente. Lo anterior va de la mano de la política de producción más limpia del gobierno nacional, en la cual se busca una reducción de los impactos negativos de todo el ciclo de vida de los productos, incluyendo su disposición final (Ministerio de Ambiente, 2004) y la política de gestión integral de residuos sólidos que tiene como uno de sus objetivos principales minimizar la cantidad de los residuos generados en el país (Ministerio de Ambiente, 2004).

El Ecovio® no es utilizado debido principalmente a su alto costo al ser comparado kg a kg con las resinas plásticas convencionales; aun así, es una oportunidad que permite revisar las características que hacen viable un modelo de gerencia de ingeniería capaz de ofrecer una alternativa para transformar el envase de agua actualmente utilizado en Colombia. Por otra parte, BASF tiene poca experiencia con vasos y botellas hechos a través del proceso de termoformado y blow molding respectivamente y está interesado en entender las condiciones del sistema que permitirían dicha transformación, para impulsar estas aplicaciones específicas; esto quiere decir que es una oportunidad para utilizar la tecnología que proviene desde la ingeniería, en especial de la química, unida a los enfoques de gerencia de ingeniería (dinámica, etc.) para proporcionar una salida eficiente al complejo uso del plástico en los envases de agua. Existe además una cercanía estratégica con el Ecovio®, puesto que la autora de este proyecto trabaja hace más de tres años en BASF y así, sin revelar ningún tipo de información confidencial, se pudo acceder a información clave y de primera mano para la transformación del envase de agua en Colombia.

Para el país sería un aporte como modelo de negocio que abriría mercado y fuerza laboral, lo que seguramente interesaría a las empresas como BASF en el mercado colombiano, puesto que le permitiría impulsar las ventas de Ecovio®. Pero tal vez la justificación más importante es el efecto ambiental, un aporte singular con un producto novedoso, sin utilizar en el país y que disminuye la generación de residuos en comparación con los envases plásticos. Como el consumo de agua aumenta, el efecto del envase plástico se ha multiplicado exponencialmente lo que hace que cobre importancia el hecho de investigar métodos de envase alternativos que disminuyan el daño al medio ambiente.

Desde la Maestría de Gerencia de Ingeniería, se generó un aporte importante. Para poder lograr el análisis completo de un envase hecho con Ecovio® en comparación con uno hecho de PET o de otros plásticos tradicionales, se debieron tener en cuenta aspectos propios de la ingeniería química, la cual es la disciplina de trabajo de la investigadora del proyecto, para entender el producto utilizado y el proceso de compostaje necesario para que este sea biodegradado. Por otra parte, este proyecto es un ejemplo de innovación que aplicó las estrategias de modelado inscritas en gerencia de ingeniería como lo es la dinámica de sistemas, lo que permitió simular la cadena de valor de este tipo de envase (enfocado en su disposición). Se variaron condiciones y analizó todo el sistema contextualizando un desarrollo innovador a nivel mundial, en el contexto colombiano. Así se integró la tecnología, la ingeniería y la gerencia para proponer soluciones a problemáticas locales y mundiales, e incluyendo un aspecto importante de la gerencia de ingeniería, la inclusión de la caracterización estructural del objeto.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar un modelo de ingeniería para la transformación del empaque de plástico del agua embotellada en Colombia en un envase más sostenible hecho de Ecovio® y que permita disminuir los efectos contaminantes de los envases tradicionales.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar comparativamente el envase de agua tradicional de plástico y el envase hecho de Ecovio® con el fin de identificar las variables claves del sistema a estudiar.
2. Estructurar el proceso de transformación del envase de agua en Colombia por un envase hecho de Ecovio® utilizando la dinámica de sistemas.
3. Diseñar un modelo de negocio para el envase de agua hecho con Ecovio® en Colombia.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 MARCO CONCEPTUAL

5.1.1 EL PLÁSTICO

Los diferentes tipos de plásticos se componen de resinas, proteínas y otras sustancias. Su característica más importante es que es fácil de moldear por lo que se utiliza en múltiples envases y otros usos; es un material versátil, y dependiendo de la aplicación y de las propiedades físicas y químicas de las resinas y de su proceso productivo y costos, se utiliza una u otra resina (Selke *et al.*, 2016). Al tratarse de envases o *packaging*, las resinas más utilizadas son el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC) y polietilentereftalato (PET) (Selke *et al.*, 2016). En el envase de agua son de uso frecuente el PP, PS y PET.

5.1.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS RESINAS PS, PP Y PET

Caracterización y propiedades del Poliestireno (PS)

El Poliestireno utilizado para empaques es un polímero amorfo, rígido y quebradizo. Su falta de cristalinidad lo hace altamente transparente, característica muy útil para aplicaciones de envases. Esta resina tiende a fluir fácilmente a una temperatura no muy elevada, tiene una temperatura de fluidez de 100°C (Selke *et al.*, 2016), esto hace que sea fácilmente procesado por extrusión y termoformado. No obstante, dicha propiedad también causa que no pueda ser utilizado en envases de productos o bebidas calientes. Es una resina que proporciona una barrera baja al vapor de agua y a los gases, como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades del Poliestireno (PS).

Propiedad	Unidad	Poliestireno PS
Densidad	g/cm ³	1.04-1,05
Tg Temperatura de transición vítrea	°C	74-105
Esfuerzo de elongación	MPa	35.8-51.7
Módulo de elasticidad	MPa	2270-3270
Elongación máxima	%	1.2-2.5
Resistencia al rasgado	g/μm	4-20/25
Tasas de permeabilidad		
WVTR (Barrera al vapor de agua) a 37°C y 90% HR	g μm/m ² d	1750-3900
Permeabilidad al O ₂ , a 25°C	cm ³ μm/m ² d atm	98000-150000
Permeabilidad al CO ₂ , a 25°C	cm ³ μm/m ² d atm	350000
Absorción de agua	%	0.01-0.03

Fuente: (Selke *et al.*, 2016)

El PS puede conseguirse en diferentes grados, como poliestireno cristal, utilizado en casos en que se requiere claridad y transparencia, como HIPS o Poliestireno de alto impacto, el cual es opaco y de alta resistencia al impacto por tener una mezcla de caucho de butadieno, y finalmente como espuma de poliestireno o comúnmente conocida como poliestireno expandido, el cual es un excelente aislante (Selke *et al.*, 2016). En general, es una resina de bajo costo, aproximadamente 1250 USD/MT (Prieto Cruz *et al.*, 2016). Además, es una resina muy versátil, pues dependiendo de su grado puede ser utilizada en distintas aplicaciones. En el caso del PS cristal, se usa en diferentes contenedores como vasos y envases para medicamentos, el HIPS se utiliza para envases termoformados de lácteos principalmente, y el poliestireno expandido en cajas de huevos y bandejas para cárnicos (Selke *et al.*, 2016).

Caracterización y propiedades del Polipropileno (PP)

El polipropileno, es una resina con baja densidad, alta resistencia mecánica y química que puede ser utilizada en diversas aplicaciones. Está disponible como homopolímero del PP y copolímero del PP.

A - El homopolímero del PP, es un material cristalino, con alta resistencia al calor y a los solventes, y tiene una alta rigidez. Esto hace que sea muy útil para aplicaciones que requieren de estiramiento y permite que sus envases puedan ser esterilizados a altas temperaturas. Además, tiene una excelente barrera a la humedad y una transparencia media. Sin embargo, suele orientarse para obtener mejores propiedades de barrera y ópticas (Selke *et al.*, 2016).

B - El copolímero del PP, es un material menos cristalino, lo cual le da una mayor transparencia. Esta resina es procesada normalmente por *blow-molding*, extrusión e inyección. Sus aplicaciones principales son envases de medicamentos, ropa y productos alimenticios como los productos de panadería (Selke *et al.*, 2016).

Las propiedades de este material se pueden evidenciar en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades del Polipropileno (PP).

Propiedad	Unidad	PP no orientado	PP orientado
Densidad	g/cm ³	0.902	0.902
Tg Temperatura de transición vítrea	°C	-10	
Tm Temperatura de fusión	°C	160-175	
Esfuerzo de elongación	MPa	31-42	50-165
Módulo de elasticidad	MPa	1140-1550	Alto
Resistencia al rasgado	g/μm	50	
Transparencia	-	Buena	Excelente
Sellabilidad en caliente	°C	Si, 177-232	No

Tasas de permeabilidad			
WVTR (Barrera al vapor de agua) a 37°C y 90% HR	g $\mu\text{m}/\text{m}^2 \text{ d}$	100-300	
Permeabilidad al O ₂ , a 25°C	cm ³ $\mu\text{m}/\text{m}^2 \text{ d atm}$	146000	50000-94000
Permeabilidad al CO ₂ , a 25°C	cm ³ $\mu\text{m}/\text{m}^2 \text{ d atm}$		200000-320000
Absorción de agua	%	0.01-0.03	

Fuente: (Selke *et al.*, 2016).

Caracterización y propiedades del Polietilentereftalato (PET)

El PET es la resina más utilizada para envases de bebidas no alcohólicas o *soft drinks*. También se utiliza para diferentes envases de alimentos como mantequilla de maní o mostaza. Además, se utiliza para laminaciones de empaques de carnes y quesos, al igual que envases para microondas de comidas congeladas. Proporciona una buena barrera al oxígeno, al dióxido de carbono y a los olores, sin embargo, esta puede mejorar al biorientarse la película (Selke *et al.*, 2016).

El grado de cristalización del PET está determinado por las condiciones del proceso. Las láminas y botellas de PET normalmente son de una excelente transparencia y baja cristalinidad. Este material puede ser fácilmente hidrolizado a altas temperaturas, razón por la cual la resina debe estar totalmente seca al momento de ser procesada (Selke *et al.*, 2016). Esta resina se procesa generalmente a través del *blow molding* por inyección para producir botellas, principalmente utilizadas en aplicaciones alimenticias y médicas.

Tabla 3. Propiedades del Polietilentereftalato (PET).

Propiedad	Unidad	Polietilentereftalato PET
Densidad	g/cm ³	1.29-1.40
Tg Temperatura de transición vítrea	°C	73-80
Tm Temperatura de fusión	°C	245-265
Esfuerzo de elongación	MPa	48.2-72.3
Módulo de elasticidad	MPa	2756-4135
Elongación máxima	%	30-3000
Resistencia al rasgado	g/ μm	30/25
Tasas de permeabilidad		
WVTR (Barrera al vapor de agua) a 37°C y 90% HR	g $\mu\text{m}/\text{m}^2 \text{ d}$	390-510
Permeabilidad al O ₂ , a 25°C	cm ³ $\mu\text{m}/\text{m}^2 \text{ d atm}$	1200-2400
Permeabilidad al CO ₂ , a 25°C	cm ³ $\mu\text{m}/\text{m}^2 \text{ d atm}$	5900-9800
Absorción de agua, 0.32cm de espesor, 24h	%	0.1-0.2

Fuente: (Selke *et al.*, 2016).

5.1.1.2 RECICLAJE DEL PLÁSTICO

En el mundo se han presentado algunos fenómenos claves que han impulsado el desarrollo de métodos y procesos para la recuperación de los residuos plásticos. Primero, los grandes volúmenes de residuos plásticos domiciliarios generados, en segundo lugar, las legislaciones

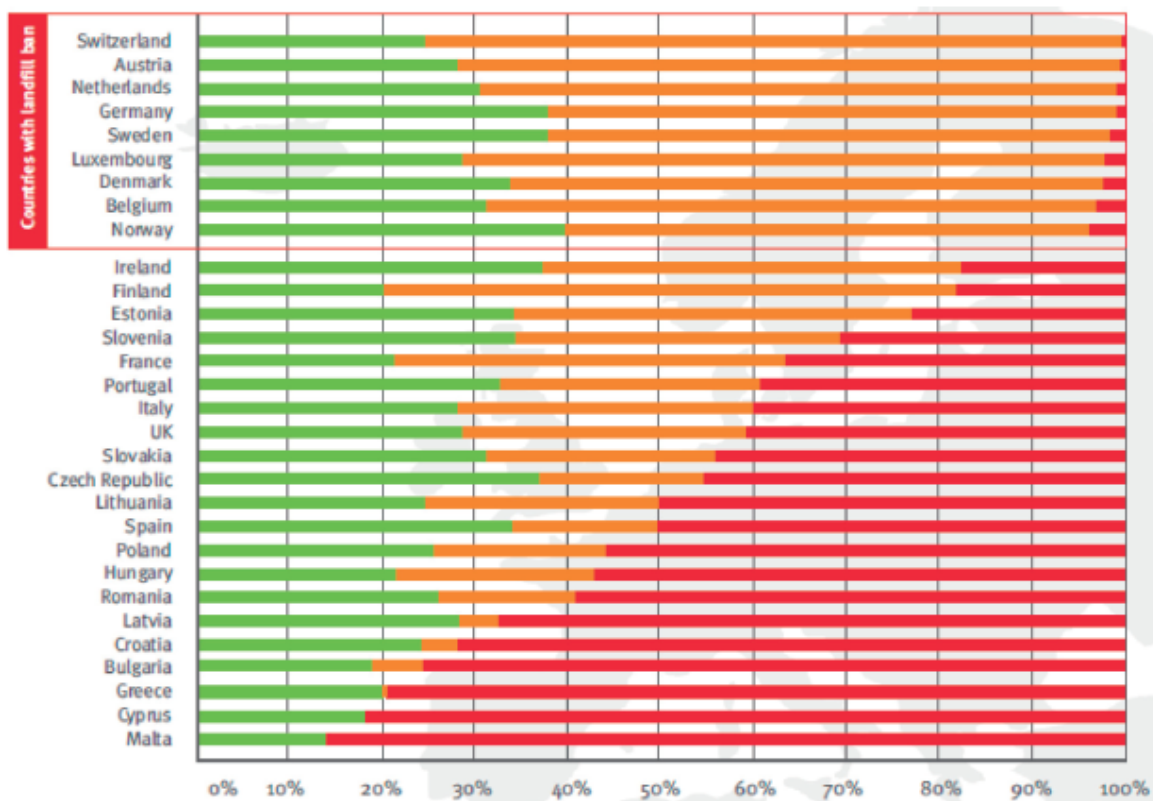
ambientales y políticas de los gobiernos de países más desarrollados para el control de envases plásticos y en tercer lugar el avance tecnológico en procesos y materiales plásticos como tal (Ministerio de Ambiente, 2004).

Para ello, existen principalmente tres tecnologías aplicadas a la recuperación de residuos plásticos: el reciclaje mecánico, el reciclaje químico y la incineración con recuperación energética. Adicionalmente existen diferentes opciones para el manejo de los mismos como lo son la reducción en la fuente y la reutilización.

En Colombia, se impulsa en primer lugar la reutilización y el reciclaje, especialmente mecánico, como métodos de minimización de residuos plásticos, no obstante, predomina la disposición de residuos plásticos en rellenos sanitarios (Minambiente, 1998).

En la Figura 1 se observa cómo se disponen los residuos plásticos en diferentes países de Europa, los países más desarrollados como Suiza y Alemania únicamente disponen cerca de un 2 % de sus residuos plásticos en rellenos sanitarios y reciclan entre el 25 y el 35 % de los residuos; además, aprovechan energéticamente el restante de residuos plásticos generados. Colombia en contraposición, tiene una tasa de reciclaje de plásticos de 27,5 %, el resto es llevado a rellenos sanitarios (Aluna Consultores Limitada, 2011).

Figura 1. Recuperación de plásticos en Europa en el año 2014. (Prieto Cruz *et al.*, 2016)



(Códigos de color: Reciclaje: verde, Recuperación Energética: naranja y Relleno sanitario: rojo)

Fuente: (Prieto Cruz *et al.*, 2016).

Es importante resaltar que cada tipo de residuo plástico tiene una vida útil en el mercado colombiano, dependiendo de su uso. Esta puede ser de largo, mediano o corto plazo. En el caso de las botellas de PET, la vida útil está entre 1 y 6 meses, o hasta un año si son retornables (Acoplásticos, 2002). Esto debe considerarse al momento de evaluar la cantidad de residuos de PET en el sistema. Además, se debe tener claro que el proceso de reciclaje de un plástico puede repetirse una y otra vez. Sin embargo, el número de veces dependerá directamente de la contaminación que exista con otros materiales, de los aditivos que tenga la resina para su protección y de las condiciones del proceso (Ministerio de Ambiente, 2004). En promedio, los plásticos se pueden reciclar de 4 a 5 veces (Álvarez, 2010).

Como se mencionó, el reciclaje de plásticos puede ser primario, secundario, terciario o cuaternario dependiendo de la tecnología que se aplique. Así, el reciclaje primario y secundario, corresponde al reciclaje mecánico, el terciario al reciclaje químico y el cuaternario a la incineración con recuperación energética. A continuación, se describirá brevemente cada uno de estos tipos de reciclaje.

Reciclaje mecánico:

El reciclaje mecánico puede ser primario o secundario, dependiendo de quién lo realice. Si es hecho por la industria dentro de su proceso de fabricación del material, es primario; si es realizado post consumo, es secundario. En el reciclaje mecánico primario o postindustrial, se muele el material sobrante o los residuos de material y se reincorpora al proceso y fabricación de productos.

En el reciclaje secundario o post-consumo, se recupera el material una vez ya el producto hecho de plástico ha terminado su vida útil y ya es por definición un residuo plástico. El reciclaje secundario se lleva a cabo de mejor manera cuando se tienen las resinas divididas según el tipo, pues algunas resinas son incompatibles y al momento de mezclarse no se pueden reciclar con facilidad. Una vez se separan los residuos, se limpian, trituran y se procesan como si fuera resina virgen. Se debe tener en cuenta que los residuos de envases que hayan estado en contacto con productos tóxicos no deben reciclarse para ser utilizados nuevamente en materiales de envase para alimentos o juguetes. Y en caso de estar contaminados biológicamente, no deben ser reciclados mediante este tipo de técnica (Aciplast, 2014).

Reciclaje químico:

Es un proceso de transformación de las resinas plásticas que implica cambios en la estructura química del material. Este permite la utilización de los residuos plásticos como fuente

de materia prima para generar nuevamente la resina original o diferentes materiales a partir de las moléculas base o monómeros originales del polímero (Rivera Távara, 2012). Esta técnica sólo se realiza cuando no es posible utilizar el reciclaje mecánico o reutilizar el material como tal, pues es más compleja.

Incineración con recuperación de energía:

Los plásticos, son materiales con un alto poder calorífico, casi dos veces mayor que la madera si se tiene en cuenta las resinas PP y PS (Prieto Cruz *et al.*, 2016). Esto ocasiona que, al ser incinerados o llevados a un proceso de combustión controlada, la energía aprovechada sea considerable. Debido a esto, la incineración con recuperación energética o reciclaje cuaternario de los residuos plásticos, es utilizada ampliamente en países desarrollados como Suiza, Alemania, Austria, USA y Japón (Ministerio de Ambiente, 2004; Prieto Cruz *et al.*, 2016).

Aun cuando es una opción viable y que ayuda en realidad a resolver el problema de acumulación de residuos plásticos en rellenos sanitarios, existen impactos ambientales asociados a esta actividad. Los impactos de la incineración de residuos plásticos como método de aprovechamiento de los mismos se centran en los gases emitidos durante la combustión y en los residuos en forma de cenizas que pueden filtrarse a las fuentes de aguas subterráneas (Aciplast, 2014). La EPA (Environmental Protection Agency) estima que los productos de combustión incompleta que tienen efectos nocivos se producen en la incineración de residuos plásticos en el orden de miles de partes por millón. Sobre todo al incinerar plásticos como el PVC, se obtienen subproductos como furanos y compuestos organoclorados que no alcanzan a ser destruidos en el proceso de limpieza de los gases y van al medio ambiente. Se sabe que pueden encontrarse como productos de combustión incompleta en incineradores de residuos, compuestos que se bioacumulan como hexanos clorados, dioxinas y éteres. De hecho la fuente más grande de dioxinas despedidas al ambiente son los incineradores de residuos sólidos, productos ligados a la quema de plásticos clorados como el PVC y otros (Thornton, 2002). Esto es una desventaja si se tiene en cuenta que la incineración de residuos plásticos no implica separación de los mismos.

El plomo es otro contaminante que va al medio ambiente en su mayor parte a través de los incineradores de residuos en el mundo, se calcula unas 45.000 toneladas de este material se filtran luego de la incineración. Lo anterior se debe a que el plomo no es destruido por la incineración (Thornton, 2002).

Es importante aclarar que el objeto de este estudio es evaluar la situación actual de disposición de residuos plásticos en Colombia, que se centra en la minimización de residuos, el

reciclaje y la reutilización (la incineración está considerada pero como la alternativa menos deseable por sus altos costos (Minambiente, 2002)) y proponer una alternativa distinta desde el material del cual se fabrican las botellas de agua en el país. A continuación, se presentan los impactos potenciales del proceso de reciclaje del plástico.

Impactos potenciales del proceso de reciclaje del plástico

Los impactos principales del reciclaje de residuos plásticos se dan en la etapa de acondicionamiento. En esta etapa, los plásticos deben pasar por un proceso de selección, eliminación de otros materiales, lavado, molido, aglutinado o peletizado, antes de ser comercializados e ingresados nuevamente al ciclo de vida del material (Ministerio de Ambiente, 2004). En dicho proceso, los riesgos e impactos más importantes dependen del tipo y origen del residuo tratado. Los impactos que se dan pueden clasificarse en dos categorías básicas:

A. Impactos sobre los recursos naturales:

El impacto principal se da sobre los recursos hídricos, ya que, en el proceso de lavado de los plásticos, se pueden encontrar sustancias contaminantes que, de no ser tratadas adecuadamente, pueden ir a las fuentes hídricas y generar una gran contaminación. Nuevamente, la sustancia contaminante depende del origen del residuo plástico. Así, si el plástico proviene de cultivos agrícolas, puede estar contaminado con fertilizantes, herbicidas, productos derivados de la urea, entre otros. Si el plástico proviene de contacto con alimentos, puede haber presencia de grasas, ácido láctico y materia orgánica (Aciplast, 2014).

B. Impactos sobre la salud humana:

Dentro de los impactos a la salud humana, existen aquellos que se derivan directamente del proceso y aquellos que se derivan del origen mismo de los residuos plásticos. En el caso del proceso como tal, los altos niveles de ruido pueden afectar a los operarios si no se utilizan los equipos de protección personal adecuados. Además, dependiendo del grado de descomposición de la materia orgánica que generalmente contamina los residuos de envases de alimentos, pueden desprenderse olores fuertes y nocivos para los operarios también.

En cuanto a los impactos derivados del origen del residuo plástico y su aplicación posterior al proceso de reciclaje, se debe tener en cuenta que el mayor riesgo es que residuos que hayan sido contaminados con sustancias tóxicas o biológicas lleguen a ser utilizados luego de su reciclaje mecánico en productos para contacto directo con alimentos. Algunas sustancias como los

químicos agrícolas reaccionan con el plástico y este queda contaminado, en tal caso el producto generado con la resina reciclada tendrá dicha contaminación y esta podrá migrar a los alimentos por contacto directo. En cuanto al reciclaje de botellas de PET, no es posible con las tecnologías convencionales utilizar esta resina para fabricar nuevamente envases para alimentos. Solo con tecnologías nuevas que despolimerizan el PET y lo vuelven a polimerizar es posible realizarlo. (Ruben, 2003).

En general, en los centros de recolección de residuos plásticos, se separan los residuos por tipo de resina, luego se hace un lavado primario con detergentes y agua caliente para eliminar residuos de alimentos y grasas (Selke *et al.*, 2016). Este proceso, no garantiza que los residuos sean inocuos en caso de estar contaminados con agentes patógenos microbiológicos. Esto es un problema a la hora de utilizar las resinas recicladas mecánicamente, ya que la temperatura de proceso de nuevos envases plásticos va de 120-300°C, temperatura que no garantiza la degradación de agentes nocivos. Estos podrían migrar al alimento, en el momento de entrar en contacto con el mismo (Ministerio de Ambiente, 2004).

5.1.1.3 IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS

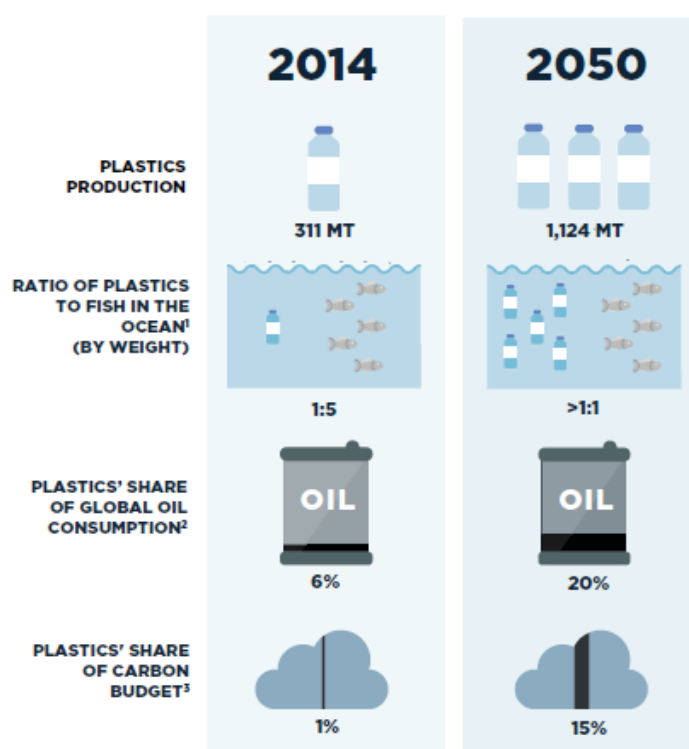
Cada vez que surge un descubrimiento que brinda beneplácito y confort a la sociedad, todos tratamos de aprovecharlo al máximo y, en un principio, no nos ocupamos en preocuparnos por los efectos nocivos que este pueda acarrear a la naturaleza, al humano mismo. Debe pasar un tiempo y verse los daños para que vuelva el “hombre” a ese estado de conciencia al cual se resistió cuando acariciaba la novedad (Perdomo, 2002)

El impacto ambiental significativo de los plásticos proviene en gran parte de la disposición final que se da a los mismos, es decir, en la medida en que estos son eliminados en rellenos sanitarios o botaderos o fuentes de agua, el impacto aumenta. De hecho, esta es una práctica que predomina en la mayoría de los municipios de Colombia. En el caso de los plásticos, la falta de separación en la fuente es el mayor obstáculo para su disposición adecuada (Ministerio de Ambiente, 2004).

Según la Fundación Ellen MacArthur y estudios de McKinsey, se proyecta un crecimiento de aproximadamente el 260 % en producción de plásticos en el planeta para 2050, un aumento del 500 % en la cantidad de plásticos en el océano en proporción a los peces que allí habitan, un aumento de 18 % (puntos porcentuales) en el share de los plásticos en el consumo mundial de petróleo y un aumento de 14 % (puntos porcentuales) en la participación del plástico en el

presupuesto global de dióxido de carbono. Se estima que haya actualmente más de 150 millones de toneladas de plástico en los océanos (Ellen MacArthur Foundation et al., 2016).

Figura 2. Proyección del comportamiento de la industria y residuos plásticos en el mundo para el año 2050. (Ellen MacArthur Foundation et al., 2016)



Fuente: (Ellen MacArthur Foundation et al., 2016).

En el mundo se estima que uno de los mayores cambios recientes en la superficie del planeta es la acumulación y fragmentación de plásticos, esto incluye la acumulación en las costas, islas, fuentes hídricas y en especial a los océanos (incluso en el fondo de los mismos). Se estima que entre el 40 y el 80 % de los desechos marinos de mayor tamaño son plásticos, la mayoría provenientes de empaques, bolsas y calzado (Barnes, Galgani, Thompson, & Barlaz, 2009).

Los desechos plásticos representan una gran amenaza para la vida silvestre. Los efectos pueden ir desde el estrangulamiento, hasta el ahogamiento de los animales, pueden incluso degradarse a micro plásticos que luego son ingeridos por los animales, y se asocian con las mareas rojas. Debido a su flotabilidad, sirven de vehículos para algas y microorganismos e incluso para especies foráneas que llegan a ecosistemas no propios y causan un impacto negativo importante en estos (Allsopp, Walters, Santillo, & Johnston, 2006). Incluso se ha observado un

aumento en la presencia de plásticos en nidos y estómagos de pájaros, o siendo utilizados por especies como los cangrejos ermitaños como refugio en vez de conchas (Barnes *et al.*, 2009). Se sabe que al menos 267 especies diferentes han sufrido de estrangulamiento o han ingerido desechos marinos. Esto incluye tortugas, aves marinas, focas, leones marinos, ballenas y peces (Allsopp *et al.*, 2006).

Por otra parte, las poblaciones costeras también se ven afectadas al verse disminuidas las poblaciones de animales para la pesca y la cantidad de turistas disminuye a medida que las playas y mares se contaminan (Maldonado, 2012).

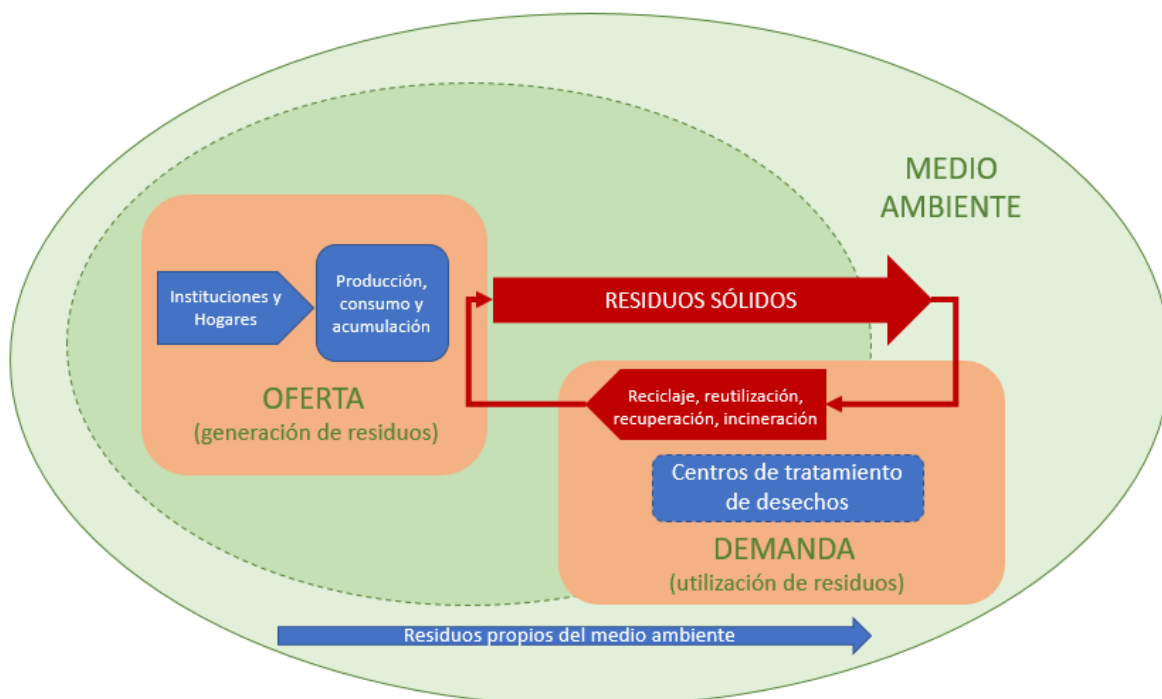
En el caso de los rellenos sanitarios se considera que, al enterrar los desechos plásticos, debido a su alta durabilidad (de cientos a miles de años), se está almacenando un problema para el futuro (Barnes *et al.*, 2009). En general, se considera que los plásticos son bioquímicamente inertes, debido a su alto tamaño molecular. Sin embargo, los desechos plásticos pueden en ciertas condiciones como la salubridad del ambiente marino y lixiviados de pH ácido (5-6) en el caso de los rellenos, migrar sustancias químicas nocivas que pueden reaccionar con moléculas biológicas. De hecho, se han encontrado en los lixiviados de vertederos municipales o rellenos sanitarios alrededor del mundo, sustancias como BPA, ftalatos, alquifenoles y octilfenoles (Teuten *et al.*, 2009). Así, los lixiviados de los rellenos sanitarios pueden ocasionar un alto impacto en las fuentes hídricas.

Como resalta la Fundación Ellen MacArthur (Ellen MacArthur Foundation *et al.*, 2016), a pesar de que los empaques de plástico ofrecen funcionalidades muy positivas, tienen un grave error de diseño en su concepto: su vida útil es típicamente menor a un año, pero el material permanece por siglos.

5.1.1.4 DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y RESIDUOS PLÁSTICOS EN COLOMBIA

El Departamento Nacional de Estadística (DANE), toma el tema de los residuos sólidos en Colombia como un problema de oferta y demanda. En la oferta se encuentran las fuentes generadoras de residuos sólidos, como lo son los hogares, la industria y las instituciones; y en la demanda se analiza la utilización y disposición de dichos materiales, así hay materiales reciclados que pueden dar la vuelta al ciclo nuevamente, y materiales que son dispuestos en rellenos sanitarios. El restante son residuos arrojados directamente al medio ambiente (es decir a bosques, océanos, fuentes hídricas, etc.). Esto se puede ver la Figura 3.

Figura 3. Esquema de oferta y demanda de residuos sólidos en Colombia. Elaboración propia basada en (DANE, 2016).



Fuente: Elaboración propia basada en (DANE, 2016).

En 2014, se estima existió una oferta de 21,1 millones de toneladas de residuos sólidos y una oferta de 20,2 millones de toneladas; del total de residuos sólidos generados, aproximadamente el 58 % fue generado por la industria y el restante por los hogares colombianos. La información más preocupante corresponde a la disposición de dichos residuos, 9,3 millones de toneladas se acumularon en vertederos y al medio ambiente se arrojaron indiscriminadamente 0,9 millones de toneladas de residuos generados en Colombia en ese año. Únicamente el 15,7 % de los residuos generados se reciclan (DANE, 2016).

Lo anterior se refuerza con los resultados del estudio realizado por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, donde se expone que el 81 % de los municipios en Colombia maneja su disposición de residuos en rellenos sanitarios; sin embargo, aún existe un 11 % de municipios donde se disponen los residuos en botaderos, fuentes hídricas y quemas (DNP, 2015).

Teniendo en cuenta la información anterior, es importante conocer la composición de los residuos sólidos en Colombia, de esta manera se puede identificar la realidad de los residuos plásticos en el país. Se estima que aproximadamente el 13 % de los residuos sólidos generados en Colombia corresponde a residuos plásticos (Aluna Consultores Limitada, 2011). En Bogotá, específicamente, este valor corresponde aproximadamente al 18,7 % (Avendaño Acosta, 2015). En la Figura 4 se puede observar la composición de los residuos sólidos en la ciudad de Bogotá.

Figura 4. Composición de los residuos sólidos en Bogotá D.C. (UAESP & JICA, 2013)

Unidad: %

Componente	Residencial	Comercial			Institucional	Reciclable
		A	B	Promedio		
Alimentos	60,56	28,86	70,34	46,48	27,05	No reciclable
Jardinería	0,87	5,59	0,00	3,23	8,63	No reciclable
Papel y Cartón	7,10	17,39	4,49	11,91	22,56	Reciclable
Plástico	10,45	19,10	16,11	17,83	19,15	Reciclable
Caucho y Cuero	0,42	1,43	0,20	0,91	0,23	No reciclable
Textiles	1,89	2,94	0,56	1,93	0,91	Reciclable
Madera	0,32	4,31	1,01	2,91	0,49	No reciclable
Metal	0,85	1,72	1,35	1,57	0,87	Reciclable
Vidrio	2,08	4,84	2,57	3,88	2,57	Reciclable
Cerámicos, etc.	1,19	1,91	0,12	1,15	0,24	No reciclable
Peligrosos	12,94	10,15	2,61	6,95	16,51	No reciclable
Otros	1,32	1,76	0,61	1,27	0,04	No reciclable
Total	99,99	100,00	99,97	100,02	99,25	-
Reciclable	22,37	45,99	25,08	37,12	46,06	-
No reciclable	77,62	54,01	74,89	62,90	53,19	-
Total	99,99	100,00	99,97	100,02	99,25	-

Fuente: (UAESP & JICA, 2013).

5.1.2 EL ECOVIO®

El Ecovio® es un material biodegradable, compostable y biobasado -el material es parcial o totalmente hecho de materias primas renovables (BASF Biodegradable Polymers, 2016). Cada grado de Ecovio® disponible tiene una composición distinta de Ecoflex® y PLA (Ácido Poliláctico). El PLA es un biopolímero cuyo monómero (el ácido láctico) se obtiene de la fermentación de dextrosa proveniente de almidón vegetal con ayuda de bacterias (Sin, Rahmat, & Rahman, 2012). El Ecoflex® es un polímero compostable proveniente de fuentes fósiles, cuya composición es reserva de BASF (BASF Biodegradable Polymers, 2016).

Para el tema de estudio de esta investigación, es necesario utilizar el grado de Ecovio® apropiado para hacer vasos mediante el proceso de termoformado y botellas mediante el proceso de Blow molding. En ese sentido, el material recomendado por BASF es el Ecovio® T 2308 y el Ecovio® F2224.

5.1.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL ECOVIO® T 2308 Y ECOVIO® F2224

Caracterización y propiedades del Ecovio® T2308

Este biopolímero contiene un 80 % de material renovable. Este material cumple con el estándar europeo DIN EN 13432 para materiales compostables y biodegradables para láminas

de hasta 1.1 mm de espesor. Además, cumple con las normas de contacto con alimentos de la Unión Europea EU Directive 2002 / 72 / EC y de Estados Unidos FCN 178, 475 y 907(BASF Biodegradable Polymers, 2015).

Esta resina viene en presentación de pellets en forma de perlas, en bolsas de 1000 kg, las cuales están destinadas a la formación de láminas por extrusión, para luego ser termoformadas en el molde deseado, como por ejemplo vasos. Es de vital importancia para definir la cadena de valor de un vaso hecho con Ecovio® T 2308, tener en cuenta las temperaturas de transporte y vida útil de almacenamiento de este material. Durante el transporte no debe exceder los 60°C, y no debe ser almacenado más de 12 meses (en una bolsa cerrada) a una temperatura de 23°C (BASF Biodegradable Polymers, 2015).

A continuación, se muestran las propiedades del material Ecovio® T2308 y de una lámina de 1 mm de espesor del mismo material:

Tabla 4. Propiedades básicas del Ecovio® T2308 (BASF Biodegradable Polymers, 2015).

Propiedad	Unidad	Método de prueba	Ecovio® T2308
Densidad	g/cm ³	ISO 1183	1.24-1.26
Índice de fluidez MFR 200°C, 5 kg	g/10 min	ISO 1133	-
Índice de fluidez en volumen MVR 190°C, 5 kg	ml/10 min	ISO 1133	7.5-11.5
Puntos de fusión	°C	DSC	110-120
	°C	DSC	140-155
Temperatura de reblandecimiento Vicat VST B/50	°C	ISO 306	55

Fuente:(BASF Biodegradable Polymers, 2015).

Tabla 5. Propiedades de una lámina de Ecovio® T2308 de 1 mm de espesor (BASF Biodegradable Polymers, 2015).

Propiedad	Unidad	Método de prueba	Ecovio® T2308
Transmisión	%	ASTM D 1003	Opaco
Módulo de elasticidad	MPa	ISO 527	2,680/2,240
Esfuerzo de elongación	MPa	ISO 527	56/40
Esfuerzo de elongación máximo	MPa	ISO 527	27/20
Elongación máxima	%	ISO 527	56/38
Tasas de permeabilidad:			
Oxígeno	cm ³ /m ² ·d·bar)	ASTM D 3985	32
Vapor de agua	g/(m ² ·d)	ASTM F 1249	3.8

Fuente:(BASF Biodegradable Polymers, 2015).

Caracterización y propiedades del Ecovio® F2224

Este material cumple con el estándar europeo DIN EN 13432 para materiales compostables y biodegradables para láminas de hasta 120 µm de espesor y con el estándar americano ASTM D6400. (BASF SE, 2016). Esta resina se puede procesar en líneas de producción convencionales

utilizadas para LDPE (Low Density Poliethylene), tiene un color blanco traslúcido y una buena estabilidad térmica de hasta 230°C (BASF SE, 2016). Esta resina viene en presentación de pellets en forma de perlas, en bolsas de 1.000 kg, las cuales están destinadas a la formación de láminas por soplado, para luego ser procesadas por *blow molding* en el molde deseado, como por ejemplo botellas. Durante el transporte no debe exceder los 60 °C, y no debe ser almacenado más de 12 meses (en una bolsa cerrada) a una temperatura de 23 °C. (BASF SE, 2016).

A continuación, se muestran las propiedades del material Ecovio® F2224 y de una lámina de 50 µm de espesor del mismo material.

Tabla 6. Propiedades básicas del Ecovio® F2224. (BASF SE, 2016)

Propiedad	Unidad	Método de prueba	Ecovio® T2308
Densidad	g/cm ³	ISO 1183	1.24-1.26
Índice de fluidez en volumen MVR 190°C, 5 kg	ml/10 min	ISO 1133	3.0-6.5
Puntos de fusión	°C	DSC	110-120
	°C	DSC	140-155

Fuente: (BASF SE, 2016)

Tabla 7. Propiedades de una lámina de Ecovio® F2224 de 50 µm de espesor. (BASF SE, 2016)

Propiedad	Unidad	Método de prueba	Ecovio® T2308
Módulo de elasticidad (MD/TD)	MPa	ISO 527	1100/600
Esfuerzo de elongación (MD/TD)	MPa	ISO 527	47/40
Elongación máxima (MD/TD)	%	ISO 527	440/350
Resistencia al rasgado	mN	DIN EN ISO 6383-2	280/230
Tasas de permeabilidad:			
Oxígeno (23°C, seco)	cm ³ /(m ² ·d·bar)	ASTM D 3985	860
Vapor de agua (23°C, 85% HR)	g/(m ² ·d)	ASTM F 1249	98

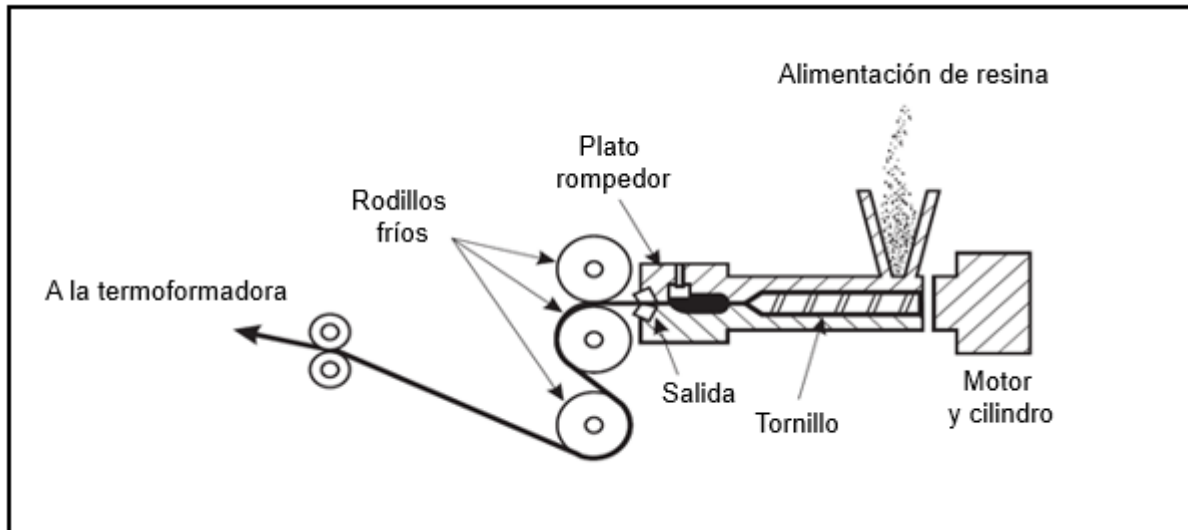
Fuente: (BASF SE, 2016).

5.1.2.2. PROCESAMIENTO DEL ECOVIO® T 2308 Y ECOVIO® F2224

Proceso de termoformado para vasos con Ecovio® T2308

El Ecovio® T2308 viene en presentación de pellets; por esta razón, primero se debe formar una lámina de hasta 1 mm de espesor con el polímero, antes de poder dar paso al proceso de termoformado. Este proceso previo se hace en una máquina extrusora que, en general, se instala como un proceso continuo en línea antes de la termoformadora (Rosen, 2002).

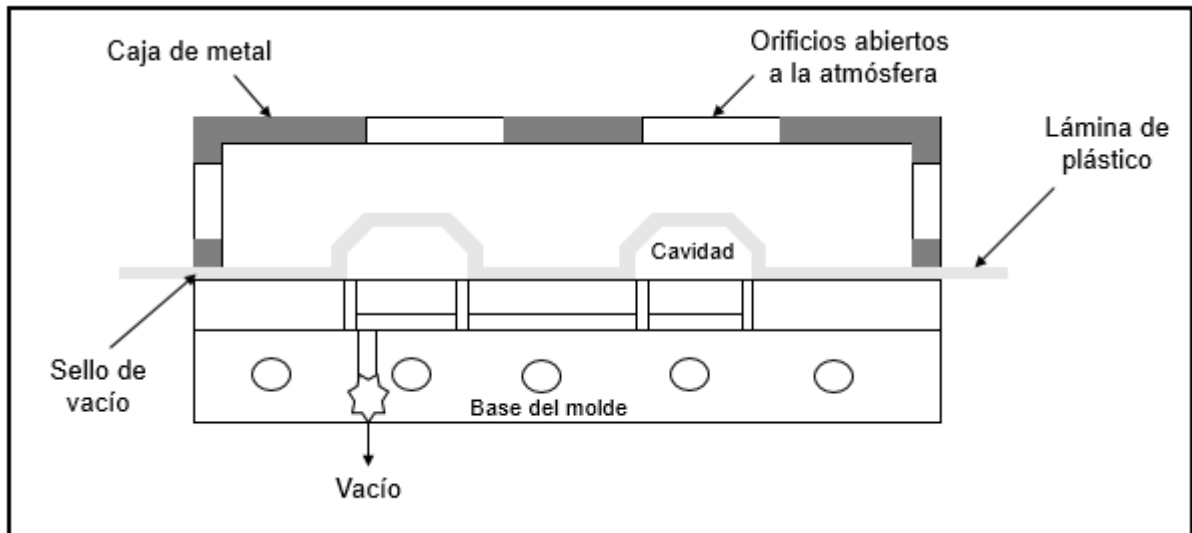
Figura 5. Extrusora para la formación de láminas de biopolímero, integrada al proceso de termoformado posterior. Adaptación propia basada en (Rosen, 2002).



Fuente: Adaptación propia basada en (Rosen, 2002).

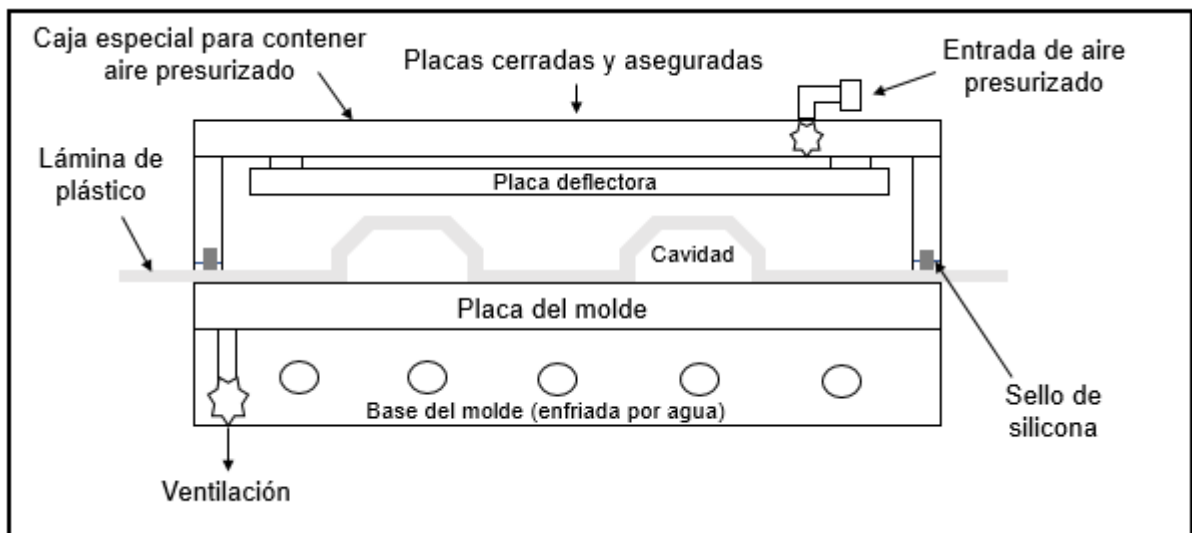
La máquina termoformadora consta de una serie de rodillos que reciben la lámina de polímero, luego pasa por un horno que calienta la lámina a la temperatura de termoformado, de allí llega a la prensa de vacío y finalmente pasa de la máquina termoformadora a la cortadora o troqueladora para terminar el proceso (Rosen, 2002). En la prensa de vacío o presión se encuentra el molde deseado, allí se fuerza la lámina de polímero a ocupar el molde. Esto se puede llevar a cabo mediante vacío efectuado desde la parte inferior de la máquina, como se puede ver en la Figura 6 o mediante presión ejercida desde la parte superior como se puede ver en la Figura 7:

Figura 6. Sistema de vacío de la máquina de termoformado para la producción de vasos. Elaboración propia basada en (Rosen, 2002).



Fuente: Elaboración propia basada en (Rosen, 2002).

Figura 7. Sistema de presión de la máquina de termoformado para la producción de vasos. Elaboración propia basada en (Rosen, 2002).



Fuente: Elaboración propia basada en (Rosen, 2002).

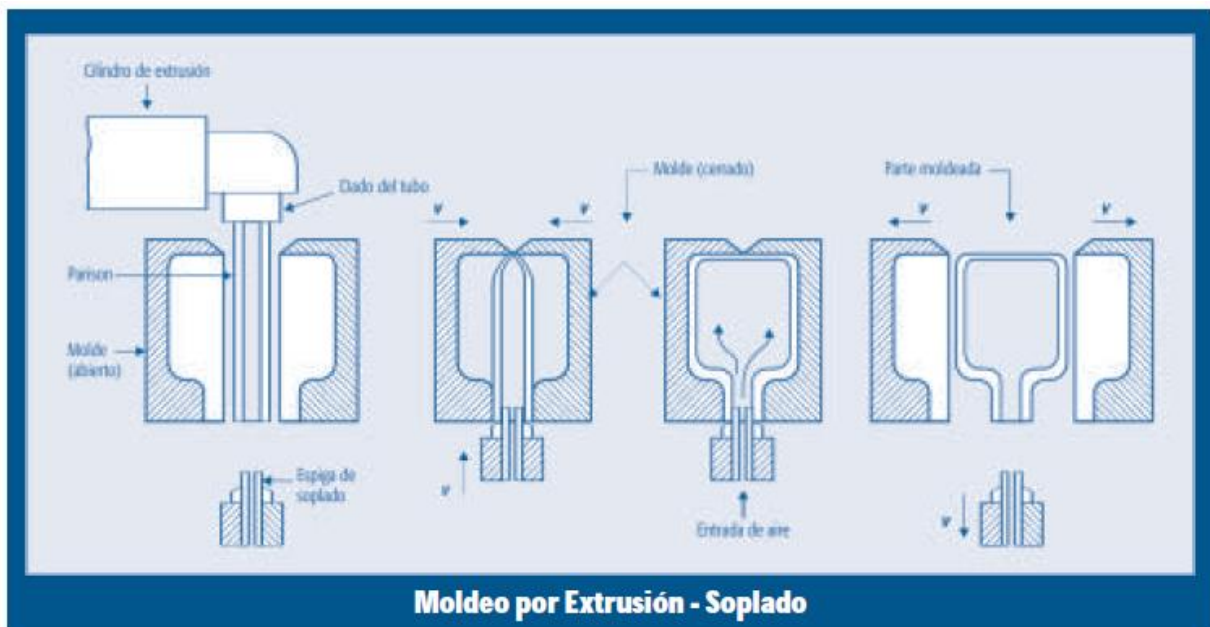
El proceso de termoformado por presión es más eficiente, ya que fuerza a un mayor contacto de la lámina de polímero con el metal del molde, esto logra un mejor intercambio de calor entre los dos materiales y, por lo tanto, permite aumentar la velocidad del proceso (Rosen, 2002). La temperatura del proceso con el Ecovio® T2308 debe estar entre los 160 °C y 200 °C. Los equipos para llevarlo a cabo, son los mismos que se utilizan en la extrusión y termoformado de otros polímeros convencionales para la elaboración de vasos como el PS (Poliestireno) y PP (Polipropileno) (M.Cerqueira, entrevista laboral, Enero 30 de 2017).

Proceso de *blow-molding* para botellas con Ecovio® F2224

En el caso del proceso de *blow-molding* para el Ecovio® F2224, los equipos y condiciones de proceso para hacer botellas son los mismos que se utilizan en el proceso de *blow-molding* (bien sea por extrusión o por inyección, pues el Ecovio® puede ser tanto extruido como inyectado sin inconvenientes) de otros polímeros convencionales para la elaboración de este tipo de envases como el PET (Polietilentereftalato). Debe tenerse en cuenta la temperatura de proceso, esta debe estar entre los 160°C y los 200 °C (M.Cerqueira, entrevista laboral, Enero 30 de 2017).

El proceso de *blow-molding* o moldeo por soplado utiliza la presión del aire para dar forma a un molde de plástico (Selke *et al.*, 2016). Este proceso es utilizado para hacer botellas principalmente y se puede hacer por extrusión o por inyección. El moldeo por soplado hecho por extrusión es el más simple y económico para hacer botellas plásticas; sin embargo, no permite un control óptimo del grosor de las paredes del envase y no puede realizarse con resinas de baja resistencia en estado fundido (Selke *et al.*, 2016). Esta combina la extrusión de un molde inicial con la expansión a través del soplado para llegar al envase final. El concepto general de este proceso se puede ver en la Figura 8.

Figura 8. Concepto general del moldeo por soplado hecho por extrusión. (Ministerio de Ambiente, 2004)

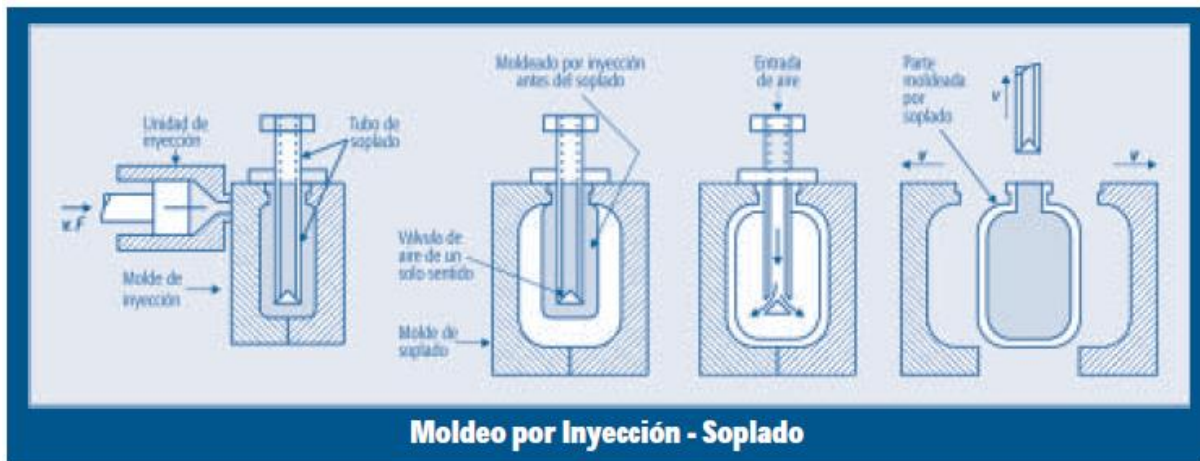


Fuente: (Ministerio de Ambiente, 2004)

El moldeo por soplado hecho por inyección combina la inyección de un molde con la expansión del mismo a través de soplado para llegar al diseño final de la botella. Debido a esto,

se tiene un control importante en las dimensiones del recipiente, produce pocos desperdicios y es ampliamente utilizada con resinas con baja resistencia en estado fundido, razón por la cual es el proceso más ampliamente utilizado para hacer botellas de PET (Selke *et al.*, 2016). El concepto general de este proceso se puede ver en la Figura 9:

Figura 9. Concepto general del moldeo por soplado hecho por inyección. (Ministerio de Ambiente, 2004).

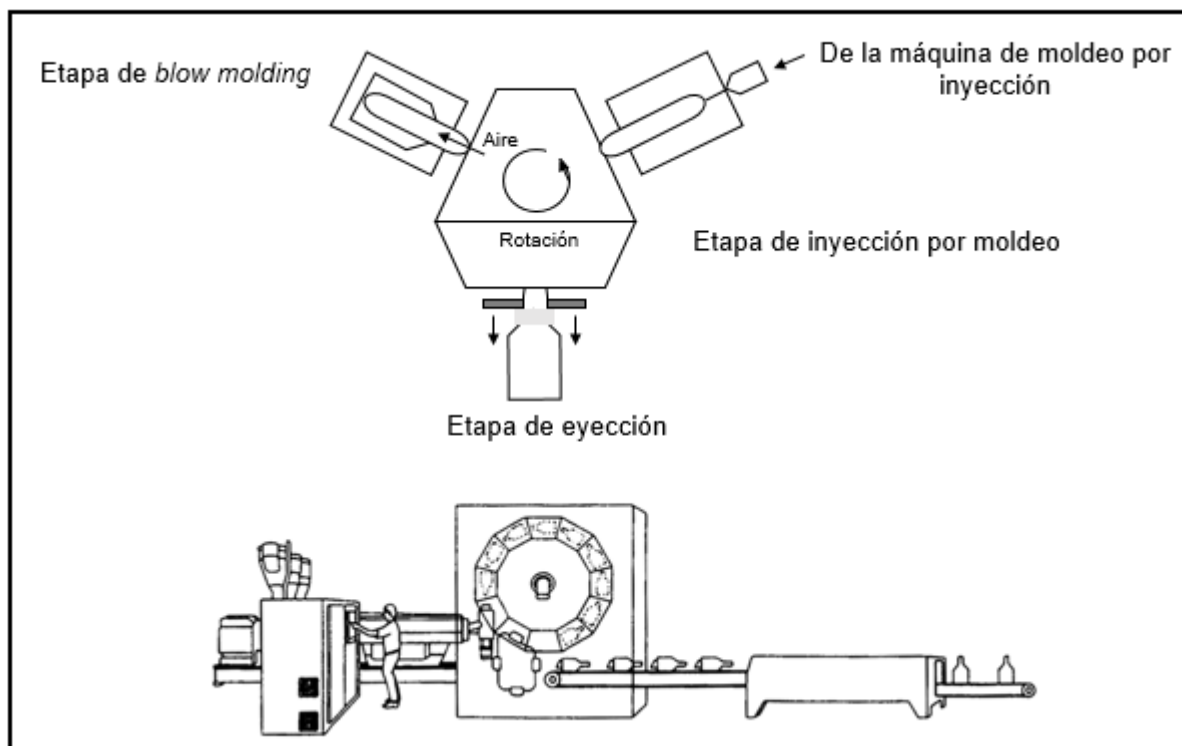


Fuente: (Ministerio de Ambiente, 2004).

Las botellas fabricadas mediante este proceso se hacen en dos pasos como se mencionó anteriormente. Primero se produce una preforma mediante moldeo por inyección. Luego dicha preforma se introduce en un segundo molde y se sopla para llegar a la forma deseada. Normalmente, la preforma se enfría solamente lo suficiente para que mantenga su forma. Luego de ser soplada, se enfría con agua hasta que mantenga su forma y se eyecta la botella terminada (Selke *et al.*, 2016).

Normalmente, estos dos pasos se hacen en la misma máquina, dicha máquina tiene tres estaciones rotativas como se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Máquina de *blow molding* por inyección, multi estaciones rotativas. Adaptación propia basada en (Selke *et al.*, 2016)



Fuente: Adaptación propia basada en (Selke *et al.*, 2016).

5.1.2.3. COMPOSTAJE Y DISPOSICIÓN DEL ECOVIO®

De acuerdo con la ASTM (*American Society for Testing and Materials*), un plástico biodegradable es aquel que puede ser degradado por la presencia de hongos, bacterias y algas, y un plástico compostable es aquel que “sufrir un proceso de degradación por procesos biológicos durante el compostaje para **producir dióxido de carbono, agua, compuestos inorgánicos y biomasa** a una tasa consistente con otros materiales compostables conocidos y **no deja residuos visualmente distinguibles o tóxicos**” (negrilla fuera de texto) (Kale, Auras, Singh, & Narayan, 2007, p. 1049). Siendo así y como se ha mencionado anteriormente en este capítulo, el Ecovio® es un plástico compostable en su totalidad y el proceso por el cual debe pasar para no dejar huella luego de su ciclo de vida útil, es el compostaje.

El compostaje es un proceso natural en el cual el material orgánico se descompone en abono, esto sucede principalmente por la presencia de microorganismos como bacterias y hongos, quienes utilizan el sustrato como su fuente de alimento. Además, se necesita la presencia de carbono, nitrógeno, agua, oxígeno y calor. (Vaverková, Adamcová, Kotovicová, & Toman, 2014). Así, las condiciones de proceso más importantes a la hora de llevar a cabo un compostaje de cualquier material serán la temperatura, los microorganismos, la humedad, el oxígeno y el pH. La degradación del PLA (componente principal del Ecovio® junto con el Ecoflex®) se en condiciones de compostaje, se lleva a cabo mediante un proceso de hidrólisis química en

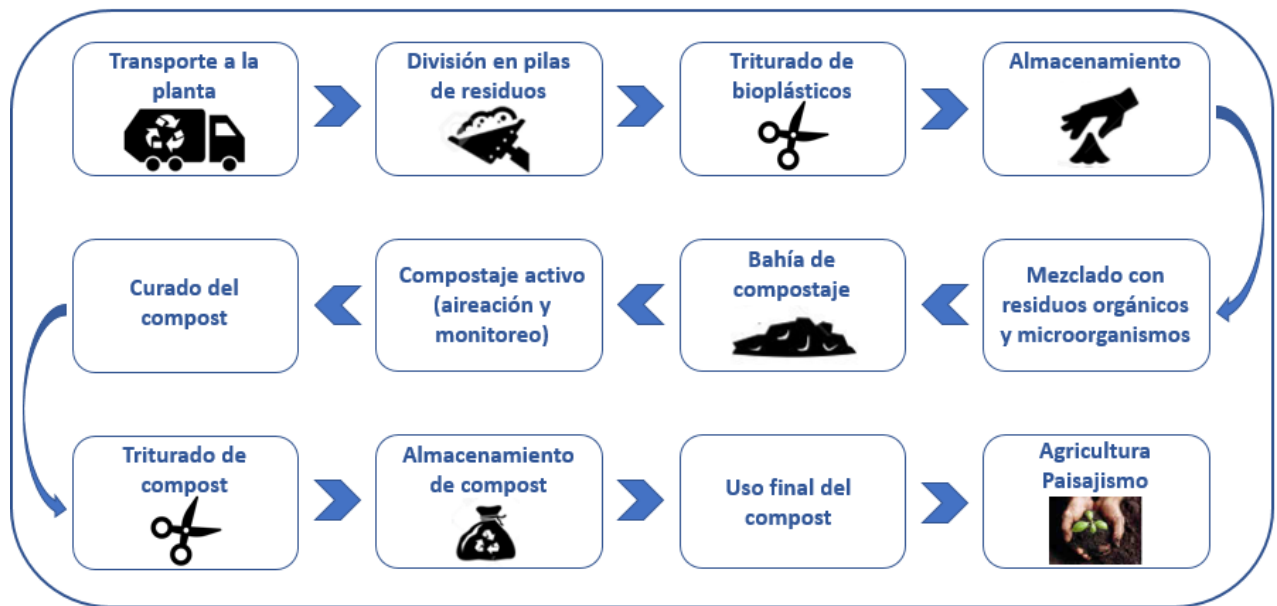
presencia de agua a temperaturas elevadas, seguido de una degradación por microorganismos que finalmente generan dióxido de carbono en condiciones aerobias o metano en condiciones anaerobias (Karamanlioglu & Robson, 2013).

Los estándares de compostabilidad de materiales, han sido desarrollados por la ASTM (American Society of Testing Materials), ISO (International Standardization Organization) y CEN (European Comitee for Standardization), allí se definen las condiciones de compostaje bajo las cuales debe someterse el material para demostrar su compostabilidad. Las normas específicas de definen en la sección 5.3.2.

Los estándares, sin embargo, proporcionan parámetros aplicables a escala de laboratorio que al llevar a condiciones reales de plantas de compostaje pueden cambiar principalmente en variables como temperatura y humedad relativa (Vaverková *et al.*, 2014). Por esta razón, se deben realizar pruebas preliminares con el Ecovio® en las condiciones de campo reales para ajustar las variables del proceso y obtener un resultado óptimo.

En general, las etapas del proceso de disposición y compostaje para un plástico se pueden observar en la Figura 11. Una vez los residuos son generados en las diferentes fuentes de residuos como instituciones, comercio y hogares, estos son recolectados y transportados a la planta de compostaje. Allí se reciben y se apilan para luego ser triturados y almacenados; posteriormente, son mezclados con material biológico y situados en el lugar de compostaje. De igual manera, se lleva a cabo el proceso y, al final del mismo, se extrae el abono o el compost para ser vendido o aplicado a terrenos de agricultura.

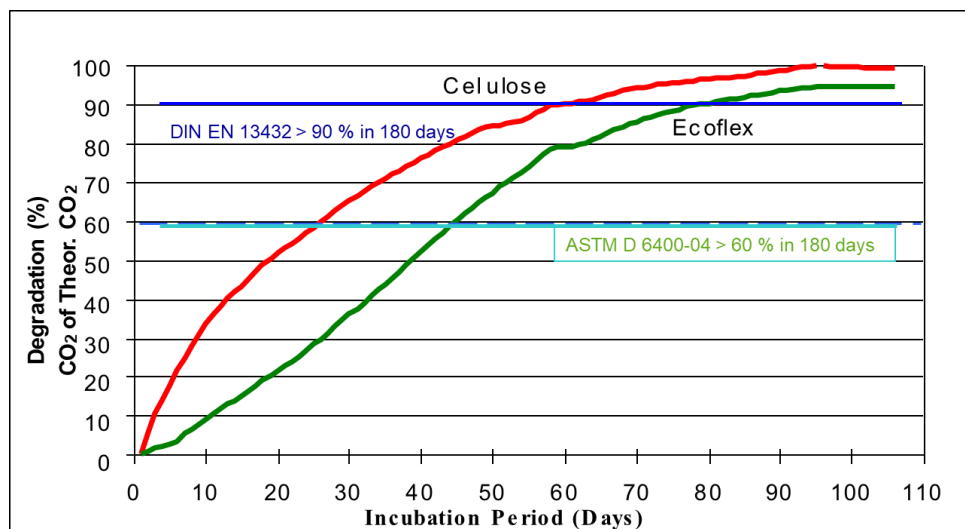
Figura 11. Cadena de disposición y compostaje para plásticos. Elaboración propia basada en (Vaverková *et al.*, 2014).



Fuente: Elaboración propia basada en (Vaverková *et al.*, 2014)

Bajo la marca de Ecovio®, BASF incluye un portafolio completo de plásticos biodegradables y compostables que cumplen la norma europea EN 13432 para biodegradabilidad, compostabilidad, calidad de compost y desintegración cuantitativa, compostabilidad vegetal y tests de toxicidad para plantas. De hecho, al realizar las pruebas con Ecoflex®, uno de los componentes principales del Ecovio®, se obtiene una conversión mayor al 90% a CO₂ luego de 80 días, como se puede observar en la Figura 12.

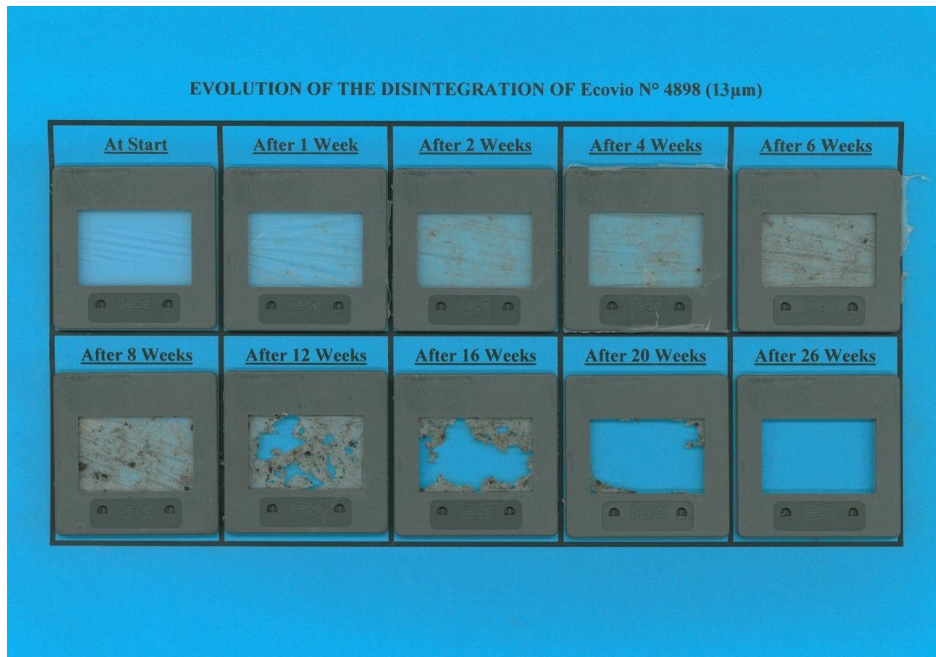
Figura 12. Degradación del Ecoflex® (BASF, 2011)



Fuente: (BASF, 2011)

La biodegradación de empaques en condiciones de compostaje se ha correlacionado con cambios visuales y variaciones físicas de las propiedades de los materiales (Vaverková *et al.*, 2014). En la Figura 13 se puede observar la degradación del Ecovio® a lo largo del tiempo, en condiciones de compostaje, luego de veintiséis semanas, no hay rastro del material original, todo ha sido convertido en CO₂, biomasa y agua.

Figura 13. Desintegración del Ecovio® en condiciones de compostaje. (BASF, 2011)



Fuente: (BASF, 2011)

Estudios de compostaje como el referenciado, ayudan a tener las condiciones de proceso más claras y a ajustarlo adecuadamente a la hora de llevarlo a cabo en una planta de compostaje real, ya que proporciona condiciones de proceso y tiempos esperados para obtener una degradación completa.

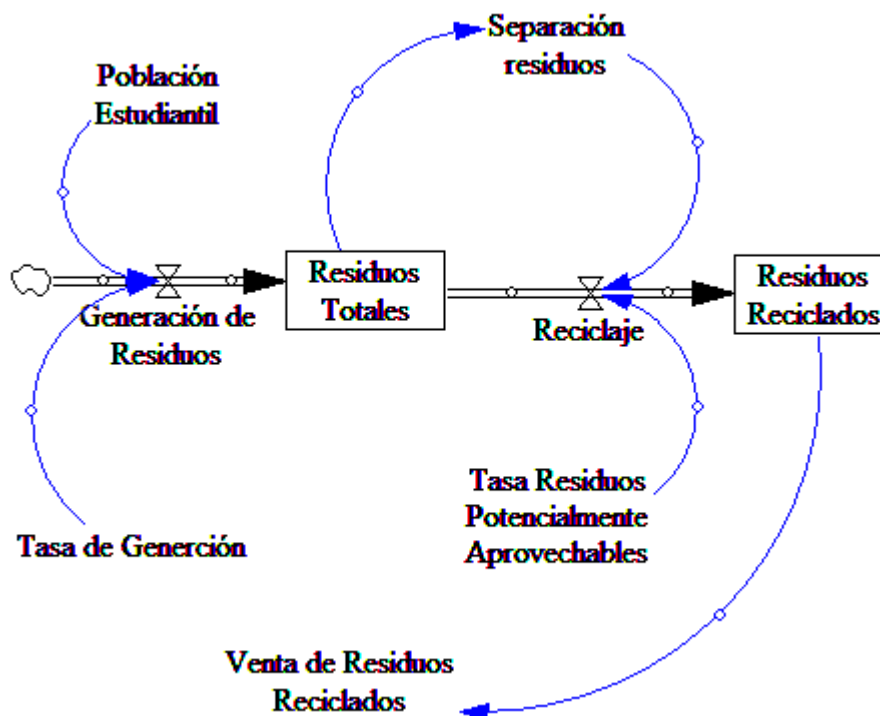
5.2 ESTADO DEL ARTE

5.2.1 TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL CONTEXTO NACIONAL

La investigación en Colombia se ha centrado en modelos de simulación de manejo de residuos sólidos. Ibarra (Ibarra, Redondo, & Clave, 2011) planteó un modelo de dinámica de sistemas en el que relaciona la cantidad de residuos, el presupuesto de las instituciones y los residuos reciclados, utilizando el software Stella®. Se realizaron dos simulaciones, una teniendo

en cuenta el reciclaje y la otra sin reciclar. Un diagrama del modelo se puede ver en la Figura 14.

Figura 14. Diagrama de modelo de manejo de residuos sólidos. Elaboración propia basada en (Ibarra *et al.*, 2011)



Fuente: Elaboración propia basada en (Ibarra *et al.*, 2011).

Ocoro (Ocoro & Chavarro, 2014) en un estudio hecho en la Universidad del Valle, utilizó la dinámica de sistemas para dimensionar el impacto ambiental generado por el reciclaje y la reutilización de envases de PET. Se concluyó que los impactos ambientales son acumulativos si se tiene en cuenta la disposición final del PET, debido a su largo tiempo de degradación. Se logró mostrar a través del modelo, que al incrementar las tasas de reciclaje se prolonga la vida útil de los rellenos sanitarios disponibles y se reduce la generación de lixiviados para las aguas subterráneas. Y se concluyó que no es suficiente reciclar los residuos de PET, es necesario cambiar las tendencias de consumo para así reducir la generación de residuos de este material (Ocoro & Chavarro, 2014).

Debido a la cantidad de factores que intervienen en los sistemas de manejo de residuos sólidos, se utilizó la dinámica de sistemas, metodología con la cual se han logrado eficientes resultados al simular este tipo de problema en diferentes países como Chile y México (Ibarra *et al.*, 2011). La dinámica de sistemas permite modelar y analizar sistemas complejos y entender

cómo cambian a través de largos períodos de tiempo (Ocoro & Chavarro, 2014). Lo anterior, hace de esta metodología una herramienta ideal para el modelado del problema de esta tesis.

5.2.2 TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL

Los trabajos realizados en el campo de los plásticos alternativos, biopolímeros o plásticos compostables y biodegradables se pueden dividir en dos líneas principales de investigación que soportan esta tesis.

- Análisis de biodegradabilidad, compostabilidad y ciclo de vida de biopolímeros.
- Sustitución de plásticos y evaluación de biopolímeros en la industria alimenticia.

En concreto para trabajos realizados con Ecovio®, hay poca información aún, incluso BASF está empezando a hacer estudios relacionados con envases en el mundo, ya que la gran mayoría de desarrollos se han venido haciendo en bolsas de Ecovio® y en plásticos de agricultura. Sin embargo, existe en el campo de los biopolímeros, bastante información sobre el uso de uno de los componentes principales del Ecovio®, el PLA (Polylactic Acid). Existen estudios sobre su ciclo de vida, compostabilidad y biodegradabilidad, e incluso se ha venido estudiando como reemplazo de los plásticos tradicionales en productos de la industria alimenticia.

5.2.2.1 ANÁLISIS DE BIODEGRADABILIDAD, COMPOSTABILIDAD Y CICLO DE VIDA DE BIOPOLÍMEROS

Los biopolímeros pueden categorizarse según su origen en tres grandes categorías: Biopolímeros extraídos de la biomasa como el almidón y la celulosa, biopolímeros producidos por síntesis química como el PLA (ácido poliláctico), y biopolímeros producidos mediante la utilización de microorganismos como el PHA (Polihidroxialcanoato) (Weber, 2000).

En esta revisión se presentan los trabajos internacionales sobre la biodegradabilidad, compostabilidad y ciclos de vida de algunos de estos biopolímeros en diferentes aplicaciones como bolsas, vasos y botellas, estos son los antecedentes directos de investigación en el área que dan resultados concretos sobre su utilización, beneficios e impactos.

El PLA es uno de los biopolímeros más competitivos en el mundo, y también es uno de los más investigados. Para degradar este material, es necesario someterlo a condiciones de compostaje donde las variables de temperatura, humedad, pH y microorganismos juegan un papel fundamental. En Corea, se investigó la influencia de los microorganismos y radiación ultravioleta en su degradación. Se encontró que el PLA perdía peso molecular al ser expuesto a

radiación UV y a la acción de bacterias mesofílicas, aumentando su biodegradabilidad en un ambiente de compostaje (Jeon & Kim, 2013).

Por su parte, Vaverková investigó sobre las condiciones de biodegradación de bolsas hechas con materiales presentados como biodegradables, dentro de las cuales se encontraba el almidón, celulosa y plásticos como el PE y PP aditivados con pro-oxidantes. Los análisis se llevaron a cabo en condiciones reales de compostaje industrial en la planta central de compostaje de la ciudad de Brno en República Checa. Luego de un período de 13 semanas, se encontró que únicamente las bolsas plásticas basadas en celulosa y almidón se biodegradaban, las bolsas oxodegradables de PE y PP no sufrían cambio alguno. Además, se hace allí referencia a que las bolsas de PLA y Ecoflex® se degradan completamente en ambientes de compostaje (Vaverková *et al.*, 2014).

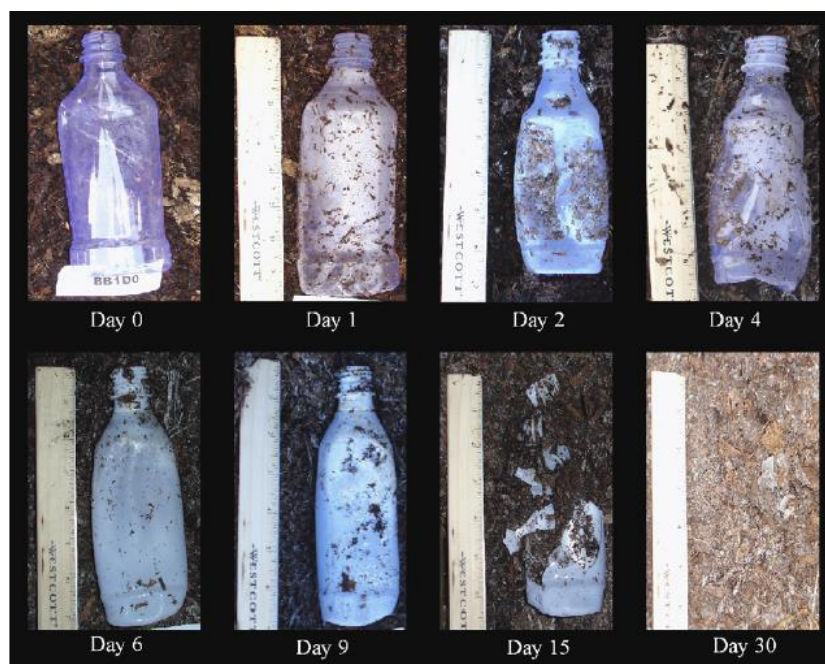
El concepto de Evaluación de ciclo de vida o LCA (Life Cycle Assessment) es una herramienta para la evaluación de impactos ambientales de un producto o servicio en todas las etapas de su ciclo de vida, desde la producción hasta la disposición (Ellen MacArthur Foundation *et al.*, 2016).

Harst (Harst & Potting, 2013) presentó un estudio de ciclo de vida de diez diferentes tipos de vasos desechables enfocado en el potencial de calentamiento global o GWP de cada uno. Se compararon plásticos tradicionales como el PS (poliestireno), PET, PET reciclado y PP (polipropileno), vasos de papel recubiertos con plástico tradicional o PLA y vasos de PLA. Dentro de dicho estudio se tuvo en cuenta la disposición final de los residuos como un factor clave y se consideraron los rellenos sanitarios, incineración, reciclaje y compostaje como fin de los ciclos de vida. Se encontró que los vasos hechos de papel tenían un menor GWP comparado con los de PS, pero aproximadamente el mismo impacto que los de PET reciclado. Por su parte, los vasos de PLA también mostraron un menor GWP que los vasos tradicionales de PS y el compostaje como disposición final contribuyó también a una reducción del GWP de los vasos (Harst & Potting, 2013).

Por su parte, Häkkinen (Häkkinen & Vares, 2010) realizó una comparación de ciclos de vida de vasos desechables de PET y vasos de cartón recubiertos con PE (polietileno) o con PLA para determinar si la disposición final de los residuos y el material jugaba un rol importante en la generación de gases invernadero. Se encontró que el GWP en CO₂ eq de los vasos de cartón recubiertos con PLA era aproximadamente un 75 % menor que para los vasos de PET (Häkkinen & Vares, 2010).

En cuanto a la biodegradación de botellas de PLA, existen también estudios como el de Kale (Kale *et al.*, 2007) que investigó este fenómeno en condiciones de compostaje de acuerdo a las normas estándar de compostabilidad de bioplásticos. En este caso se utilizaron botellas de 500 ml utilizadas para envasar agua mineral, hechas en su totalidad de PLA. Las condiciones iniciales de temperatura, humedad y pH fueron 65 °C, 63 %, y 8,5 respectivamente. Desde el primer día se observaron cambios en las botellas como se puede ver en la Figura 15 y en el día 30 el material se había degradado casi completamente.

Figura 15. Biodegradación de botellas de PLA utilizadas como envase de agua mineral en condiciones de compostaje. (Kale *et al.*, 2007)



Fuente: (Kale *et al.*, 2007).

Finalmente, se presentan casos de éxito reales de aplicaciones de biopolímeros dentro de esta línea de investigación. Dentro de los casos de éxito reales más difundidos se encuentran el uso de bolsas compostables en Milán y la utilización de envases hechos con plásticos compostables en los juegos olímpicos de Londres 2012.

En 2011, en Milán se recolectaron únicamente los residuos de comida de lugares comerciales, y se tenía una tasa de recolección de 28 kg por persona al año. Los residuos de alimentos de casas no se recuperaban. Como parte del proyecto, se decidió proporcionar bolsas hechas de plásticos compostables y biodegradables que luego podrían ser adquiridas en supermercados y las bolsas no compostables de un solo uso fueron prohibidas. Como resultado, en 2016 ya se recolectaban 95 kg por persona al año de residuos de alimentos que se compostaban en su

totalidad y permitían un compost de buena calidad para ser utilizado como abono (Ellen MacArthur Foundation *et al.*, 2016).

En los juegos olímpicos de Londres 2012, se utilizaron 120 millones de envases desechables hechos con plásticos biodegradables y compostables que luego se recolectaron en su totalidad y se llevaron a una planta de compostaje donde luego de su proceso de degradación contribuyeron a la producción de abono de alta calidad para los campos de agricultura de Inglaterra. El propósito de dicha acción era demostrar cuántos residuos pueden tratarse sin ser enviados a rellenos sanitarios. Así, se logró evitar que 8.000 toneladas de residuos fueran a rellenos sanitarios y en consecuencia se logró que 1.700 toneladas de residuos fueran compostados (London Bio Packaging, 2012).

5.2.2.2. SUSTITUCIÓN DE PLÁSTICOS Y EVALUACIÓN DE BIOPOLÍMEROS EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

En la última década, se ha venido investigando sobre alternativas de empaque para alimentos, principalmente enfocada en la disminución del uso de plásticos convencionales. De acuerdo con esto, los bioplásticos se han venido evaluando y poco a poco utilizando como alternativa.

El PLA se ha venido aplicando a empaques de diferentes tipos de alimentos y bebidas como agua, jugos, lácteos, vegetales y frutas en forma de vasos, botellas, bolsas y películas principalmente, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Aplicaciones del PLA en industria de alimentos. (Elaboración propia basado en (Peelman *et al.*, 2013))

Tipo de Empaque	Producto	Compañía
Vasos de papel recubiertos con PLA	Café y té	KLM
Vasos	Bebidas	Mosburger
Bowls	Ensaladas	McDonald's
Botellas	Agua, jugos y lácteos	Biota, Noble
Bandejas	Frutas, verduras, panadería	Asda
Bolsas	Pretzels, papas fritas y pasta	Snyder's of Hanover, Frito-Lay, Biorigin
Jarras	Yogurt	Danone
Películas	Papas fritas	McCain
Paños absorbentes	Pollo orgánico	Delhaize

Fuente: Elaboración propia basado en (Peelman *et al.*, 2013).

Según Weber (Weber, 2000), es importante tener una barrera al vapor de agua adecuada para almacenar bebidas. Esta propiedad es satisfecha suficientemente por el PLA para dicha aplicación.

El PLA puede ser utilizado como material de envase de productos de vida útil corta y media sin inconvenientes. Sin embargo, su barrera al oxígeno y al vapor de agua puede ser mejorada con recubrimientos de policaprolactona u óxido de polietileno si es necesario (Peelman *et al.*, 2013).

En este campo, existen estudios de propiedades de bebidas como el jugo de naranja. Haugaard y su grupo (Haugaard, Weber, Danielsen, & Bertelsen, 2002) logra demostrar que un envase rígido de PLA fue tan eficiente como uno hecho de HDPE (Polietileno de alta densidad) o de PS (Poliestireno) en cuanto a la protección de la calidad de jugo de naranja fresco. Incluso se percibió una mayor pérdida de ácido ascórbico en el envase de HDPE que en el de PLA.

Al pasar a casos de éxito comercial del uso de biopolímeros como envases de alimentos, se destacan dos casos: la sustitución de vasos de yogurt de HIPS (Poliestireno de alto impacto) por envases de PLA por la compañía Danone (Haugaard *et al.*, 2002) y el uso de una botella de PLA para envasar agua de calidad premium, sustituyendo el envase de PET tradicional, hecha por la compañía Biota en Estados Unidos (Mojo & Holstorm, 2003).

El grupo Danone ha convertido cerca del 5 % de sus envases de yogurt a envases de PLA y se encuentra evaluando si aumenta la participación de este biopolímero en sus envases, ya que por ahora va enfocado a una línea específica de yogurt orgánico que comercializa en Estados Unidos y Alemania (Teconología del Plástico, 2014). Por otra parte, la compañía BIOTA, envasa agua en la primera botella aprobada por el BPI (Instituto de productos biodegradables) como envase biodegradable bajo la norma ASTM 6400 utilizado comercialmente (Mojo & Holstorm, 2003). Según los tests realizados a la botella terminada, se estima que esta puede degradarse en un período de 75 a 80 días bajo condiciones de compostaje industrial (BIOTA Spring Water, n.d.).

5.3 MARCO NORMATIVO

5.3.1 MARCO JURÍDICO NACIONAL

La Constitución Política de Colombia de 1991, eleva a rango constitucional la protección del medio ambiente. Esto implica una serie de acciones que van llevando al país a alinearse cada vez más con situaciones, prácticas y comportamientos que vayan en pro de la sostenibilidad y la protección del medio ambiente y los recursos. Para promover dichas prácticas, el gobierno ha dispuesto dos políticas importantes en materia de reducción y manejo de residuos: la política de producción más limpia y la política integral de manejo de residuos sólidos.

La Política de producción más limpia, fue creada para perseguir el objetivo de sostenibilidad en el sector productivo, con el fin de minimizar los impactos para el ser humano y para el medio ambiente. El ideal es poder incluir la dimensión ambiental en el sector productivo para poder mejorar en el largo plazo como país.

Los objetivos específicos principales de esta política son:

- Prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales sobre la población y los ecosistemas.
- Minimizar y aprovechar los residuos generados.
- Adoptar tecnologías más limpias y de menor impacto ambiental.
- Reducir en los productos los impactos negativos en todo el ciclo de vida del mismo, desde sus materias primas hasta su disposición final. (Ministerio de Ambiente, 2004)

La Política de gestión integral de residuos sólidos nace en Colombia con el fin de minimizar la cantidad de residuos que se generan, aumentar el aprovechamiento y consumo de los residuos y mejorar los sistemas de manejo integral de residuos sólidos principalmente (Minambiente, 1998). De esta manera, se busca fortalecer la capacidad de manejo y aprovechamiento de residuos tanto del Estado como del sector privado en el país.

Además de las dos políticas públicas anteriormente mencionadas, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible viene trabajando con el concepto de responsabilidad extendida del productor, allí se hace que los fabricantes e importadores de productos sean los responsables de establecer canales de devolución de residuos luego de ser utilizados. De hecho, Colombia es el primer país de América Latina que bajo este concepto ha implementado un sistema de recolección selectiva, reglamentando siete tipos de residuos post-consumo (Minambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). La idea es que se promueva la gestión adecuada de residuos que deben ser tratados aparte de los residuos domésticos habituales. Entre estos actualmente se incluyen las baterías plomo ácido, pilas, medicamentos, plaguicidas, llantas, bombillos y computadores (Minambiente, 2017).

Los objetivos fundamentales de los programas post consumo de residuos son:

- Separar los residuos de los residuos ordinarios para manejarlos de una manera ambientalmente adecuada.
- Facilitar el reciclaje de los residuos.
- Incentivar a los consumidores a crear hábitos de consumo sostenible. (Ministerio Del Medio Ambiente, 2013).

Finalmente, existen en Colombia diferentes decretos, leyes y resoluciones aplicables al objeto de estudio de esta investigación. Estos se presentan a manera de resumen informativo en la Tabla 9.

Tabla 9. Decretos, leyes y resoluciones principales en el tema de manejo de residuos y residuos plásticos en Colombia. (Elaboración propia)

Decreto, Ley o Resolución	Resumen
Decreto Ley 2811/74 Gobierno Nacional	Código de los Recursos Naturales Renovables, Art 34: Manejo de residuos, basuras, desechos y desperdicios. (Ministerio de Ambiente, 2004)
Ley 9/79 Gobierno Nacional	Ley Sanitaria Nacional, Art. 22-31. Restricciones para el almacenamiento, manipulación, transporte y disposición de los residuos sólidos. Se regula la fabricación, envasado y conservación de alimentos. Allí se define el control de las materias primas usadas para los empaques de alimentos. (Ministerio de Ambiente, 2004)
Resolución 970/2001 Ministerio de Ambiente	Por la cual establecen requisitos, condiciones y límites máximos permisibles de emisión, bajo los cuales se debe realizar la eliminación de plásticos contaminados con plaguicidas. (Ministerio de Ambiente, 2004)
Resolución 1045/03 Ministerio de Ambiente	Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGRIS. (Ministerio de Ambiente, 2004)
Resolución 0668/2016 Ministerio de Ambiente	Por la cual se reglamenta el uso racional de bolsas plásticas. La meta es reducir para diciembre de 2017 un 10% de utilización de bolsas plásticas y seguir con la reducción un 5% anual hasta llegar a un 60%. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016)
Decreto 3075/97	Capítulo 4. Reglamenta los requisitos higiénicos de la fabricación de alimentos. Art.18: Reglamenta que los envases deben estar fabricados con materias primas apropiadas para contacto con alimentos y cumplir con los grados de toxicidad y pureza tolerables. (Ministerio de Ambiente, 2004)
Decreto 1713/2002	Como formas de aprovechamiento se consideran, entre otras, la reutilización, el reciclaje, el compostaje, la lombricultura, la generación de biogás y la recuperación de energía. Impulsa la separación en la fuente, la recolección selectiva de residuos y actividades de aprovechamiento como el reciclaje y compostaje. (Gobierno Nacional de la República de Colombia, 2002)

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 NORMAS DE COMPOSTABILIDAD Y BIODEGRADABILIDAD

De la mano del aumento del consumo de agua en botella, viene el aumento de desechos plásticos. Sería ideal que además del reciclaje y de la reutilización, ya impulsadas por el gobierno nacional, se pudiera llegar a utilizar el compostaje como alternativa, y poder lograr derivar de una tendencia de mercado creciente, también una tendencia sostenible, por qué no, generando abono para una agricultura sostenible también. Esto no sería posible si no se pudiera determinar la eficiencia de la degradabilidad y compostabilidad de los plásticos utilizados. Es aquí donde se hace sumamente importante la utilización de normas que permitan estandarizar e identificar las condiciones bajo las cuales esto puede ser una realidad.

Las diferentes asociaciones internacionales como la ASTM, ISO y CEN han desarrollado diferentes estándares para evaluar la biodegradabilidad de los plásticos en diferentes ambientes

como el compostaje y la digestión anaerobia. La ASTM 6400 por ejemplo, es de vital importancia para definir la compostabilidad de materiales plásticos, especificaciones y terminología para plásticos biodegradables y además plantea guías experimentales a través del método de prueba ASTM D5338. El método de prueba ASTM D 5338 se utiliza para evaluar la biodegradabilidad de los plásticos en un ambiente controlado de compostaje que correlaciona la biodegradabilidad con la conversión a dióxido de carbono del material. Una conversión mayor al 60% certifica al material como biodegradable. Finalmente se corren pruebas de ecotoxicidad para certificarlo como compostable (Kale *et al.*, 2007). La norma homóloga a la ASTM D 5338 en la ISO es la ISO 14855-1.

Por su parte, el Comité Europeo de Estándares CEN, desarrolló su propia norma de evaluación de biodegradabilidad y compostabilidad, la EN 13432. Esta norma establece la guía para evaluar los empaques y componentes de los mismos basados en la caracterización del material, biodegradabilidad, desintegración, calidad del compostaje y ecotoxicidad (Kale *et al.*, 2007).

Las normas aplicables en el caso del Ecovio®, objeto de estudio principal de esta investigación son la EN 13432, AS 4736, GreenPla y ASTM 6400. Este material está avalado por todas estas normas, garantizando su uso y compostabilidad a nivel global. (Cerqueira, 2016).

Figura 16. Normas de compostabilidad y biodegradabilidad para Ecovio®. (Cerqueira, 2016)



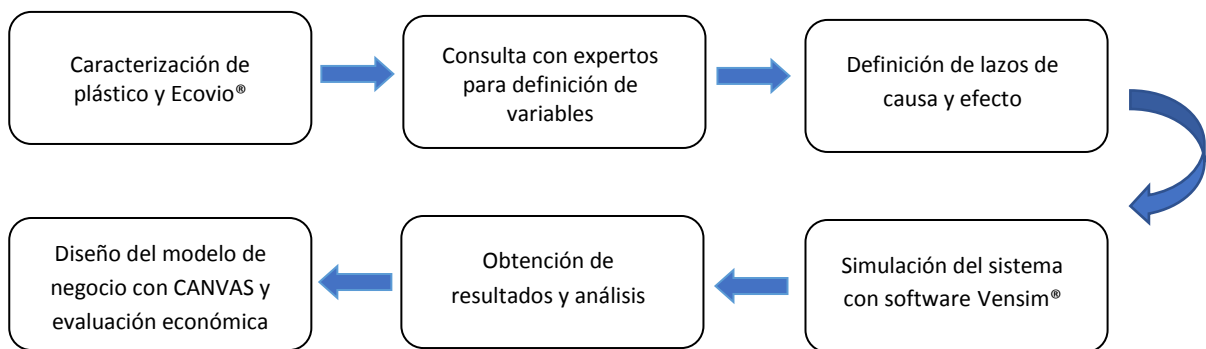
Fuente: (Cerqueira, 2016)

6. METODOLOGÍA

El desarrollo de esta investigación incluyó todos los procesos de una investigación aplicada en combinación con herramientas para un modelo de gerencia de ingeniería sobre un problema de alto impacto a la vida y al medio ambiente: el uso de plástico como empaque.

El resumen de la metodología utilizada se observa en la Figura 17 y en la Tabla 10.

Figura 17. Metodología desarrollada para construir la transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Matriz de desarrollo de objetivos. (Elaboración propia).

Objetivo específico	Etapas	Tarea	Actividades	Metodología
Caracterizar comparativamente el envase de agua tradicional de plástico y el envase hecho de Ecovio®.	Marco teórico del PS, PP y PET.	Investigación sobre propiedades y proceso del PS, PP y PET.	1. Consulta de fuentes de información técnicas.	Análisis-Síntesis
	Marco teórico del Ecovio®	Investigación sobre propiedades del Ecovio® y proceso del mismo.	1. Consulta de fuentes de información técnicas.	1. Análisis-síntesis. 2. Consulta con expertos BASF y base de datos Sirius de BASF. 3. Ishikawa
Estructurar el proceso de transformación del envase de agua en Colombia al reemplazarlo por un envase hecho de Ecovio® utilizando la dinámica de sistemas.	Simulación de la disposición de las botellas de agua en Colombia (sistema actual y con entrada de Ecovio®).	Definición de variables de la disposición de una botella de agua de PET y una hecha con Ecovio®.	1. Definir etapas de la disposición de una botella de agua en Colombia. 2. Identificación de variables clave.	1. Análisis-síntesis. 2. Consulta con expertos.
		Definición de relación de causalidad y diagrama de Forrester.	1. Identificar relación de causa y efecto entre variables. 2. Introducir las variables como niveles, parámetros y tasas en Vensim®.	1. Diagrama de Forrester. 2. Validación con expertos. 3. Vensim®.
		Análisis de entrada y salida.	1. Aproximación matemática del modelo. 2. Tratamiento de datos.	1. Estadística (distribuciones de probabilidad, medidas de tendencia central). 2. Vensim®.
	Discusión de resultados	Análisis de simulación	1. Validación de datos de salida. 2. Análisis de políticas y escenarios.	1. Pruebas T. 2. Análisis-síntesis. 3. Vensim®.
Diseñar un modelo de negocio para el envase de agua hecho con Ecovio® en Colombia.	Diseño del modelo de ingeniería	Análisis del contexto estratégico	1. Factores clave para el reemplazo (externos e internos). 2. Construcción de propuesta de valor y estrategia. 3. Modelo de negocio.	1. Análisis-Síntesis, tendencias de industria, Fuerzas de Porter, DOFA, benchmarking. 2. AHP 3. CANVAS
		Evaluación financiera	1. Definición de estructura de costos. 2. Construcción de flujos de caja del proyecto. 3. Análisis financiero.	1. Simulador de negocios EAN. 2. Análisis-síntesis. 3. VPN, TIR, WACC, Payback. 4. Análisis de sensibilidad.

Fuente: Elaboración propia.

6.1 PRIMERA PARTE

La caracterización del envase tradicional de plástico y el envase de Ecovio® se representó a través de una matriz con las categorías y variables necesarias lo que permitió modelar comparativamente *el uso* de plástico y Ecovio®. En los modelos de gerencia de ingeniería modelar es posible si se conocen cada una de las variables en el eslabón, es decir, esto permite construir la solución alternativa que hace eficiente el objetivo, esta es la razón fundamental para caracterizar. En ese sentido, la categoría principal definida correspondió al material utilizado para el envase de agua. En la actualidad, el agua en Colombia se comercializa principalmente en botellas y vasos. Es por esta razón, que la categoría material fue conformada por las resinas PET (Poliétilentereftalato), PS (Poliestireno) y PP (Polipropileno) para el caso de los plásticos tradicionales, y además se incluyó el Ecovio® en sus grados T2308 y F2224.

Los materiales se compararon y contrastaron según las variables relevantes encontradas durante la investigación. Estas características son: uso, forma del envase de agua que se obtiene luego de ser procesado, tipo de proceso por medio del cual se obtiene el envase, permeabilidad al agua y al oxígeno, disposición de residuos generados luego del uso del envase, degradabilidad e impacto ambiental.

Figura 18. Subcategorías por comparar entre los plásticos tradicionales utilizados como envase de agua y el Ecovio®. (Elaboración propia).



Fuente: Elaboración propia.

Se utilizaron todas las herramientas de una investigación descriptiva que caracterizaron el uso del plástico y las compararon con las del Ecovio®. Para alimentar la matriz se utilizaron fuentes secundarias y primarias tales como documentos del Ministerio de Medio Ambiente de Colombia, entrevistas con expertos en el Ecovio® de BASF en Brasil y Alemania, artículos científicos sobre la degradación de plásticos, libros sobre envases flexibles, estudios de la Fundación Ellen MacArthur y libros especializados sobre polímeros y plásticos. De igual manera, se incluyeron elementos de carácter cualitativo y cuantitativo (Investigación por triangulación) con base en fuentes de carácter secundario. Posteriormente, el proceso de caracterización se sincretizó en una matriz y su representación en un diagrama que permitió ver con precisión la caracterización comparativa del uso de plástico o del Ecovio®. En síntesis, el modelo de ingeniería solo se procesa en forma de dinámica conociendo en detalle cada elemento que se involucra en el uso de estos dos, es decir, su caracterización que permite el diseño del modelo.

El resumen se presentó en una matriz y su representación en un diagrama de espina de pescado que permitió entender la problemática derivada del uso de los plásticos como envases y las ventajas de utilizar resinas biodegradables y compostables como el Ecovio®; todo basado en sus principales características de forma comparativa con los plásticos tradicionales como el PET, PS y PP.

6.2 SEGUNDA PARTE

La propuesta presentada en este capítulo modeló el reemplazo del envase de agua en Colombia partiendo de una premisa fundamental: *el tercer residuo plástico que va a los vertederos es el PET*; en ese sentido, la propuesta de la transformación del envase de agua en botella para Colombia se centró en dicha premisa. De igual forma, se delimitó el modelo a la última parte de la cadena de valor de un envase de agua en botella, es decir, desde el momento en que ocurre el desecho de los mismos hasta la disposición de los residuos.

Una vez caracterizada y descrita cada variable, el modelo de ingeniería procesó en forma de dinámica (dinámica de sistemas) cada elemento que se involucra en el mercado de agua embotellada en Colombia y en la disposición de los residuos plásticos que se generan luego de su uso. Además, se debió entender en qué consistía la simulación por medio de la dinámica de sistemas y cómo se construía un modelo adecuadamente utilizando dicha técnica de simulación.

Para lo anterior, fue necesario revisar aplicaciones de este tipo de simulación a problemas relacionados con el manejo de residuos sólidos y temas ambientales. Estos se mostraron en detalle en el estado del arte de este documento.

Para construir el modelo de dinámica de sistemas propuesto para la disposición de los residuos de botellas de agua en Colombia, se debieron seguir ciertas etapas fundamentales para llegar a conclusiones satisfactorias capaces de representar de la mejor manera el sistema real estudiado. Las etapas se presentan a lo largo del capítulo de la siguiente manera:

- **Definición de variables:** La primera etapa definió las variables relevantes que constituían el sistema por estudiar. Para poder establecerlas, se debió tener claro el alcance del sistema a modelar, sus fronteras (definidas por el modelador que conoce el sistema y sabe cómo quiere estudiarlo).
- **Relaciones de causalidad:** Una vez se tuvo la lista de variables del modelo, se procedió a encontrar las relaciones de causalidad entre las mismas, es decir, la manera en que estas se interrelacionan y se comportan. En esta etapa se identificó el comportamiento de una variable A al ser perturbada y su efecto sobre la variable B. A manera de ejemplo, si la variable A aumenta (o disminuye) y esto ocasiona que la variable B aumente (o disminuya) también, el lazo de causalidad será positivo. Si la variable A aumenta (o disminuye) y esto ocasiona que la variable B disminuya (o aumente), el lazo de causalidad será negativo. Se debió entender el sistema y estudiar el mercado y el manejo de residuos plásticos en Colombia, para proceder a generar los lazos de causalidad entre las diferentes variables identificadas en el sistema estudiado.
- **Análisis de entrada:** En esta etapa se definió la naturaleza de cada una de las variables del sistema (entre niveles, parámetros y tasas) y se realizó el análisis dimensional de cada una. Con la información ya definida, se construyeron los diagramas de Forrester en el software elegido (en este caso se utilizó Vensim®).
- **Aproximación matemática del modelo:** Para los diagramas de Forrester definidos, se establecieron las ecuaciones matemáticas que simulan el comportamiento de cada una de las variables. Los niveles se plantearon como ecuaciones diferenciales, las tasas como razones o ecuaciones simples y los parámetros como números definidos o constantes. En esta etapa fue muy importante que también el análisis dimensional fuera correcto.
- **Simulación y resultados:** Esta es la etapa final de la simulación. Una vez construido el diagrama de Forrester, se procedió a introducir los datos que permitieron la simulación del sistema. Para esto, se debió hacer un tratamiento adecuado de los datos utilizando la

estadística, lo cual se detalló en los Anexos del documento. Se corrió el modelo y se validó. Una vez validado se pudo pasar a analizar los resultados obtenidos y realizar la implementación de políticas y escenarios para ver el comportamiento del sistema en el tiempo teniendo en cuenta el comportamiento de la variable respuesta principal, la acumulación de plástico en el sistema. Esto se realizó introduciendo una variable nueva al sistema, el Ecovio® en el caso de la política, y dos tasas de reciclaje de plástico, distintas a la de Colombia, para entender cómo se comportaba el sistema en estos casos. La simulación de cada sistema propuesto se modeló con un horizonte de 500 años. Esto debido a que una botella de PET demora en degradarse esta cantidad de tiempo, y se analizaron los resultados de acumulación de PET en cada caso.

La etapa de validación es sumamente importante, ya que, en la dinámica de sistemas, si el modelo es capaz de representar con un buen intervalo de confianza (en este caso del 95 %) el comportamiento del sistema de acuerdo a lo sucedido en el pasado, existe una alta probabilidad de que lo simulado en el futuro sea una representación adecuada del sistema real. Se realizó una prueba T para determinar si las medias de los datos obtenidos y los datos teóricos son iguales y si es posible considerar que la simulación representa correctamente el sistema real.

6.3 TERCERA PARTE

En el objetivo tres, se construyó el modelo de ingeniería para la transformación del envase de agua en Colombia. Para lo anterior, se hizo un análisis del contexto estratégico utilizando diferentes herramientas como la investigación de tendencias de la industria, las cinco fuerzas de Porter, la matriz SWOT y el benchmarking. En esta sección se utilizaron fuentes como informes de la Fundación Ellen MacArthur, artículos científicos sobre aplicaciones de biopolímeros en alimentos, fuentes estadísticas de información de mercados como la base de datos Euromonitor, bases de datos de importaciones de materias primas en Colombia (Sisduan y Sismar), libros especializados en plásticos y biopolímeros e información de mercado. Una vez definido el contexto estratégico, se procedió a formular las estrategias que conformaron la propuesta de valor del negocio; estas se evaluaron mediante la metodología de AHP o proceso de análisis jerárquico. Finalmente se consolidó todo lo investigado y propuesto en un modelo CANVAS para la definición del modelo de negocio. Como segunda parte de este objetivo, se utilizó un simulador de planes de negocio de la Universidad EAN, para analizar financieramente el modelo de negocio propuesto y validarlo. Se propuso una estructura de costos e ingresos,

basada principalmente en el cierre del ciclo de los residuos de Ecovio® generados mediante el compostaje y degradación de los mismos para obtener abono orgánico de alta calidad. Se utilizaron variables macroeconómicas actuales para el caso colombiano y se revisó el VPN, TIR, WACC y período de payback para definir si el modelo propuesto generaba un buen plan de negocio para los inversionistas. Por último, se evaluaron dos escenarios distintos, uno pesimista y uno optimista, para revisar la sensibilidad de ciertas variables del sistema como la participación de mercado, los costos fijos, costos variables y precio de venta, dentro del proyecto.

7. RESULTADOS

7.1 PRIMERA PARTE

Caracterización comparativa del uso del envase tradicional de plástico y el envase de Ecovio®

Usos: Los usos de las resinas de PET, PP, PS y Ecovio® son diversos. El PET se utiliza principalmente en la elaboración de botellas para bebidas y alimentos, aunque también es ampliamente utilizado en envases para medicamentos. El Polipropileno se utiliza en diversas aplicaciones, entre las cuales se encuentran películas para recubrir diversos productos como juguetes, alimentos, cigarrillos y ropa. Además, puede utilizarse en envases que requieren esterilización a altas temperaturas, se puede utilizar en bandejas de alimentos para microondas y pots de helado (Ellen MacArthur Foundation *et al.*, 2016). El Poliestireno es por excelencia utilizado en envases de productos lácteos como leche y yogures cuando está en su forma de alto impacto. Si es poliestireno expandido, es un excelente aislante y se utiliza en aislamientos acústicos, bandejas de huevos y carnes, y diferentes empaques de comida rápida. Y el poliestireno cristal, se utiliza en vasos, envases de medicamentos, cubiertos desechables entre otros. Por su parte, el Ecovio® puede ser utilizado en diferentes envases, como vasos y envases termoformados, botellas, empaques que requieran recubrimiento plástico como vasos y platos desechables, e incluso se puede utilizar expandido para empaques de comidas rápidas o comida para llevar.

Figura 19. Empaques biodegradables hechos con Ecovio®. (BASF SE & Duric, 2014)



Fuente: (BASF SE & Duric, 2014).

Forma de envase (agua): Los envases que se pueden obtener con las resinas analizadas son muy diversos; sin embargo, al ubicarse específicamente en el mercado de agua envasada se puede hablar de tres tipos: botellas, vasos y bolsas. Las botellas utilizadas en Colombia para envasar agua son hechas de PET. Los vasos pueden estar hechos de PS y de PP dependiendo del fabricante y de las propiedades requeridas. Las bolsas por su parte son en su mayoría de Polietileno, resina que no se incluye en esta investigación por razones de enfoque.

Con la resina Ecovio® se puede hacer tanto vasos como botellas, esto dependerá del grado de Ecovio® utilizado. Dicho grado se da principalmente por la proporción de polímero Ecoflex® y por la proporción de PLA que contenga en su formulación. Específicamente para las botellas está el Ecovio® F2224 y para los vasos el Ecovio® T2308.

Proceso: En el proceso en concreto de los envases específicos a ser estudiados, existen principalmente dos procesos por medio de los cuales se pueden fabricar. Los vasos se fabrican por termoformado y las botellas por blow-molding o soplado. En el caso de los vasos, estos pueden ser termoformados por vacío o por presión del aire. Una lámina de resina entra a la máquina termoformadora y con ayuda de temperatura y vacío o presión de aire, se lleva la lámina a ocupar un molde deseado, logrando la forma del vaso. Para las botellas, se hacen moldes o

preformas bien sea por inyección o por extrusión y luego dicho molde pasa a ser calentado y soplado hasta ocupar un molde final específico y llegar a la forma deseada de botella.

Lo más relevante en esta subcategoría de comparación es que el Ecovio® puede ser trabajado en las mismas máquinas y equipos de termoformado, extrusión, inyección y soplado que las resinas de PET, PP y PS. No es necesario cambiar ningún tipo de condición de proceso o de equipo, más allá de las temperaturas de proceso, que son propias de cada resina que se procesa.

Una de las principales funciones de un envase es la protección del contenido, donde se incluyen las funciones de barrera como característica principal. Dependiendo del contenido, es importante una u otra función de barrera. Generalmente se busca barrera a los gases como el Oxígeno, CO₂ o vapor de agua, e incluso a algunos aromas (Illanes Esparza, 2004). En el caso del agua es importante contar con una barrera adecuada al vapor de agua y al oxígeno. Esto debido a que los efectos principales del agua externa que entra en los alimentos pueden generar que exista un mayor crecimiento de microorganismos en el interior de la botella y así cambiar las propiedades del alimento. Por su parte, los efectos principales del oxígeno incluyen la degradación de vitaminas, cambio de sabor y propicia el crecimiento de microorganismos no deseados (Illanes Esparza, 2004).

Barrera al vapor de agua: El PET es una resina que tiene una buena barrera al vapor de agua, el PP tiene una excelente barrera al vapor de agua y el PS tiene una pobre barrera al vapor de agua. Por su parte el Ecovio® es un material con una pobre barrera al vapor de agua, sin embargo, es una barrera suficiente para almacenar agua para consumo masivo (M. Cerqueira experto técnico regional de BASF para el Ecovio®, entrevista personal y capacitación, Noviembre 28 de 2016).

Tabla 11. Propiedad de barrera al vapor de agua del PET, PP, PS, Ecovio® F2308 y F2224. (Elaboración propia)

Resina	PET	PP	PS	Ecovio® F2308	Ecovio® F2224
Permeabilidad al vapor de agua (g µm/m ² d)	390-510	100-300	1750-3900	3800	4900

Fuente: Elaboración propia.

Permeabilidad al oxígeno: El PET es una resina que tiene una muy buena barrera al oxígeno, el PP tiene una pobre barrera al oxígeno y el PS tiene una pobre barrera al oxígeno. Por su parte, el Ecovio® es un material con una adecuada barrera al oxígeno.

Tabla 12. Propiedad de barrera al oxígeno del PET, PP, PS, Ecovio® F2308 y F2224. (Elaboración propia)

Resina	PET	PP	PS	Ecovio® F2308	Ecovio® F2224
Permeabilidad al oxígeno (cm³ μm/m² d atm)	1200-2400	50000-94000	98000-150000	32000	43000

Fuente: Elaboración propia.

Disposición de residuos: En Colombia, los plásticos se disponen de dos maneras principales, se recolectan y se envían a un reciclaje mecánico o se desechan y van a vertederos, bien sea a rellenos sanitarios autorizados o a botaderos a cielo abierto. El porcentaje de reciclaje de plástico en Colombia es cercano al 27 % y el resto, es llevado a vertederos. Esto hace que los plásticos tengan una disposición de residuos pobre en el país. En el caso del PET, se estima que es el tercer residuo plástico llevado a vertederos en el país (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016). Por otra parte, se estima que los plásticos en general no pueden ser reciclados más de 4 a 5 veces en promedio (Álvarez, 2010).

El Ecovio® por su parte, puede ser recolectado y llevado a plantas de compostaje industriales. En dichas plantas el material será incluido en el proceso de compostaje y luego de 26 semanas aproximadamente será recolectado el humus o abono resultante para ser utilizado en paisajismo o en agricultura. Incluso si se toma en cuenta el caso en que el envase sea llevado a vertederos, se estima el material pueda degradarse en un espacio de 10 a 20 años por la baja cantidad de oxígeno presente en el medio (M.Cerqueira experto técnico regional de BASF para el Ecovio®, entrevista personal y capacitación, Noviembre 28 de 2016).

Desde cualquier punto de vista, este tiempo es menor que el tiempo de degradación estimado para el PET, el cual es de aproximadamente 500 años.

Degradabilidad: La velocidad a la cual se degrada un material es muy importante a la hora de evaluar el impacto de los desechos generados por el mismo. En el caso de los plásticos, el PET se degrada a una velocidad aproximada de 500 años, lo cual es muy lento. Para el caso del PP, se necesitan de 400-600 años para su degradación (Alonso, Lozano, Apaza, & Saravia, n.d.), lo cual también la hace muy lenta. Para el PS el caso es aún más grave, pues en el caso de ser poliestireno expandido, puede tardar alrededor de 1.000 años para el caso de bandejas y en el caso del PS utilizado en vasos desechables puede llevar hasta 3.000 años (Alonso *et al.*, n.d.). El Ecovio® por su parte, se degrada completamente en condiciones de compostaje en 26 semanas y en condiciones de estar a la intemperie o en fuentes hídricas donde hay presencia de Oxígeno, se estima el material pueda degradarse en un período menor a los 10 a 20 años propuestos para el caso de los vertederos.

Impacto ambiental: Esta subcategoría se evaluó de acuerdo con lo que puede suceder con un envase de plástico o uno de Ecovio® que es desechado. En el caso del plástico, se sabe que puede ir a parar a fuentes hídricas o a otros ecosistemas, donde es causante de estrangulamiento, ingestión y muerte de diferentes especies. Además, de ser llevado a rellenos sanitarios, algunas sustancias presentes en las resinas pueden migrar y contaminar fuentes de agua subterránea y suelos como es el caso del BPA y algunos ftalatos y alquilfenoles, sin contar que contribuyen en un 30 % aproximadamente en el caso de Bogotá (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016) a la ocupación de los rellenos destinados para el desecho de residuos sólidos.

Para el caso del Ecovio®, el impacto es sumamente bajo, pues puede ser biodegradado por microorganismos y al ser compostado incluso genera abono que puede ser utilizado en campos de agricultura. Si se suma a lo anteriormente expuesto, la velocidad a la cual se degrada cada material, el resultado final sería que el PS y el PET tendrían los impactos más altos, seguidos del PP y finalmente con un impacto bajo por el Ecovio®. A manera de síntesis, se muestra la información explicada anteriormente, en la matriz comparativa de la Tabla 13.

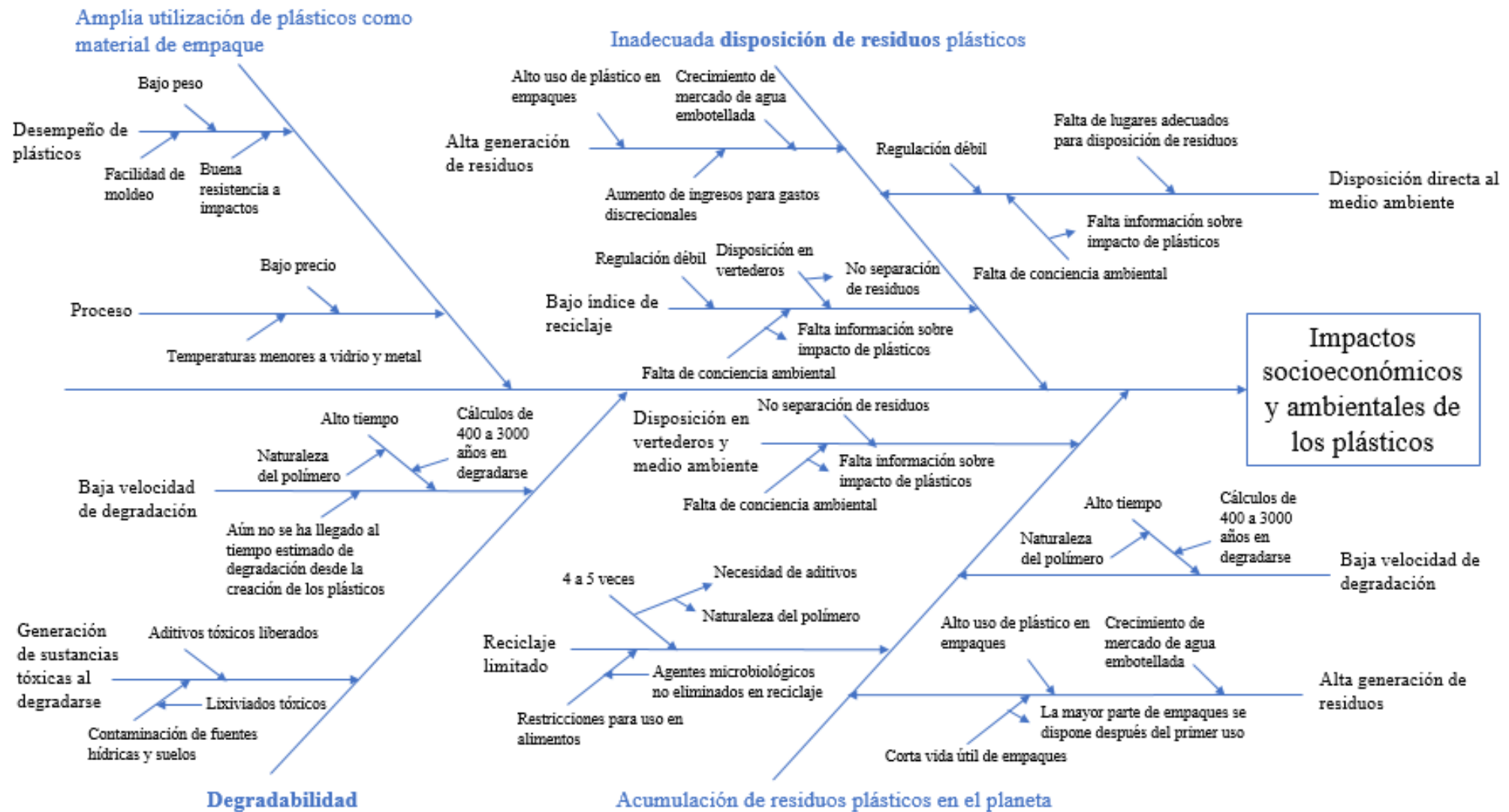
Finalmente, para recapitular los impactos de los plásticos, se presenta en la **Figura 20**, las causas de los impactos ocasionados, todo en el marco de las subcategorías estudiadas de disposición de residuos, degradabilidad e impacto ambiental. Causas que fueron incluidas en los objetivos siguientes y sobre las cuales se basó este trabajo para proponer la transformación del envase de agua embotellada en Colombia.

Tabla 13. Matriz comparativa de PS, PP, PET, Ecovio® F2308 y Ecovio® F2224. (Elaboración propia)

CATEGORÍA: Material	Usos	Forma de envase (agua)	Proceso	Barrera al vapor de agua	Barrera al Oxígeno	Disposición de residuos	Degradabilidad	Impacto ambiental
Poliestireno (PS)	Envases de productos lácteos como leche y yogures. Bandejas de huevos y carnes, empaques de comida rápida. Vasos, envases de medicamentos, cubiertos desechables.	Vaso	Termoformado	Pobre	Pobre	Reciclaje: 4 a 5 veces Vertedero	1000-3000 años	Muy alto
Polipropileno (PP)	Películas para recubrir diversos productos como juguetes, alimentos, cigarrillos y ropa. Bandejas de alimentos para microondas y potes de helado.	Vaso	Termoformado	Excelente	Pobre	Reciclaje: 4 a 5 veces Vertedero	400-600 años	Alto
PET	Botellas para bebidas y alimentos. Envases para medicamentos.	Botella	Blow-Molding	Buena	Muy buena	Reciclaje: 4 a 5 veces Vertedero	500 años	Muy alto
Ecovio® T2308	Vasos, bandejas y otros contenedores termoformados.	Vaso	Termoformado	Pobre	Adecuada	Compostaje Vertedero	26 semanas	Bajo
Ecovio® F2224	Botellas y contenedores de alimentos.	Botella	Blow Molding	Pobre	Adecuada	Compostaje Vertedero	26 semanas	Bajo

Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Diagrama de Ishikawa de impactos socioeconómicos y ambientales de los plásticos. (Elaboración propia)



Fuente: Elaboración propia.

7.2 SEGUNDA PARTE

Estructuración del proceso de transformación del envase de agua en Colombia por un envase hecho de Ecovio®. Modelo de dinámica de sistemas.

A manera de síntesis, se presenta de forma comparativa un diagrama con la cadena de valor completa de un envase de agua tradicional de plástico y de un envase de agua hecho con Ecovio®, esto permite una visualización completa de la diferencia principal y el valor agregado del uso de Ecovio® que está sustentada en la última parte de la cadena: la disposición de los residuos generados.

Figura 21. Ciclo de vida básico de las botellas de agua de plástico o Ecovio®. (Elaboración propia)



Fuente: Elaboración propia.

7.2.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES

Para comenzar, es importante aclarar que se propusieron dos modelos para este sistema. Uno para el sistema actual, donde el 100 % de las botellas de agua consumidas están hechas de PET, y un modelo futuro, donde una parte de las botellas de agua están hechas con Ecovio®. Las variables consideradas para modelar el sistema se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Variables del sistema. (Elaboración propia)

VARIABLE	COMENTARIO
CONSUMO DE AGUA	Los consumidores cada vez consumen más agua y productos naturales en vez de bebidas gaseosas. Es

	el consumo de agua el que jalona el crecimiento del mercado de bebidas no alcohólicas o “soft drinks” en el mundo.
BOTELLAS DE AGUA	Se refiere a las botellas actuales de PET utilizadas para contener el agua.
CONCIENCIA AMBIENTAL	En las generaciones más jóvenes se destaca una alta conciencia ambiental y preocupación por el futuro del planeta y por aprovechar mejor los recursos y contaminar lo menos posible.
RECICLAJE	Es una de las alternativas para residuos como el plástico. Se recopila y se transforma para ser empleado en otros productos, bien sea en nuevas botellas plásticas, o en telas, materiales de construcción, etc.
VERTEDEROS	Son los llamados rellenos sanitarios, allí va la gran mayoría de residuos en Colombia. Se apilan y se entierran hasta agotar el espacio disponible.
ECOVIO®	Material biodegradable y compostable de BASF. Puede ser utilizado como las demás resinas plásticas en producción de envases como vasos, bolsas o botellas.
COMPOST	Producto de la biodegradación del Ecovio® y desechos orgánicos. Se puede utilizar como abono para la tierra en lugares de siembra.

Fuente: Elaboración propia.

Las variables presentadas corresponden a las variables clave que permitieron al modelador definir el sistema a ser estudiado. Es importante tener en cuenta que el modelo se centra en la disposición de los residuos de botellas de agua generados en Colombia. Dichos residuos dependen directamente del consumo de agua y de la manera en que las personas dispongan los residuos, bien sea al separarlos para ser reciclados o al arrojarlos a la basura que posteriormente es llevada a vertederos. Al incluir en el sistema la variable de Ecovio® como material de las botellas de agua, aparece también una manera adicional de disposición de los residuos, el compostaje. La relación entre cada una de las variables se presenta en el siguiente numeral 7.2.2.

7.2.2 RELACIONES DE CAUSALIDAD

En el sistema definido como *sistema actual* (Figura 22), se pueden observar cinco lazos de causalidad:

a. Lazo A-B:

- Cada vez más consumidores demandan productos saludables. Esto hace que el agua sea preferida por los consumidores.
- El agua viene envasada actualmente en botellas de PET desechables.

- Al aumentar el consumo de agua en botella, la cantidad de botellas de agua aumenta también en el sistema. Por lo tanto, el lazo entre estas dos variables es positivo.

b. Lazo B-C:

- Al aumentar la cantidad de botellas de agua hechas de plástico en el sistema, la sociedad empieza a analizar la generación de residuos y su conciencia ambiental empieza a aumentar también. Esto hace que el lazo entre estas dos variables sea positivo.

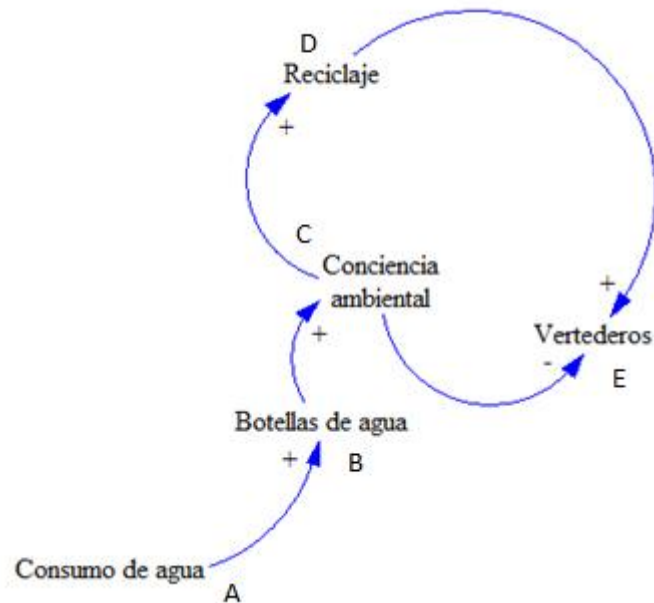
c. Lazos C-D y C-E:

- A mayor conciencia ambiental, menos de dichas botellas de plástico generadas como residuos van a parar a vertederos. Esto hace que el lazo C-E sea negativo.
- A mayor conciencia ambiental, más botellas son recolectadas y recicladas. Esto hace que el lazo C-D sea positivo.

d. Lazo D-E:

- El reciclaje de PET no se puede llevar a cabo indefinidamente. A medida que se recicla la resina una y otra vez, se pierden propiedades y se va degradando. Esto hace que se deba adicionar una mayor cantidad de aditivos (de alto costo) para poder obtener una resina de propiedades adecuadas.
- Por otra parte, se debe también tener en cuenta que se debe hacer un tratamiento especial para garantizar que no haya contaminación biológica en la resina reciclada.
- El PET se puede reciclar en promedio entre 4 y 5 veces, luego debe ser desechado.
- Desde este punto de vista, a mayor resina reciclada, mayor acumulación de residuos plásticos en vertederos (hay una demora por supuesto que debe ser considerada a la hora de modelar). El lazo es entonces positivo.

Figura 22. Relaciones de causalidad del sistema actual de disposición de botellas de agua en Colombia.
(Elaboración propia)



Fuente: Elaboración propia.

Con este modelo se estudió la tendencia de la acumulación de residuos plásticos de PET si se sigue en este mismo sistema, sin modificar ninguna variable actual. Es decir, si no se toman medidas al respecto y todo sigue como ha venido hasta ahora. Cabe resaltar que se puede considerar este sistema como estable, debido a que el número de lazos negativos es impar.

En el sistema definido como *sistema con Ecovio®* (Figura 23), se pudieron observar nueve lazos de causalidad. De dichos lazos, únicamente los lazos C-F, F-E, F-G y F-B son diferentes de los definidos en el sistema actual. En este sistema, existe una diferencia sustancial, entra una nueva variable, en este caso, un nuevo material llamado Ecovio®. El Ecovio® es un biopolímero biodegradable y compostable que debe ser llevado a ciertas condiciones en una planta de compostaje, y no genera ningún tipo de residuo más que biomasa (abono), CO₂ y agua.

Siendo así, las relaciones de causalidad son:

a. Lazo C-F:

- El reemplazo del plástico como material de envase de agua iría siendo paulatinamente reemplazado por el Ecovio®.
- Al aumentar la conciencia ambiental, el uso de botellas de Ecovio® sobre botellas de PET sería mayor también. Eso hace que el lazo sea positivo.

b. Lazo F-E y F-G:

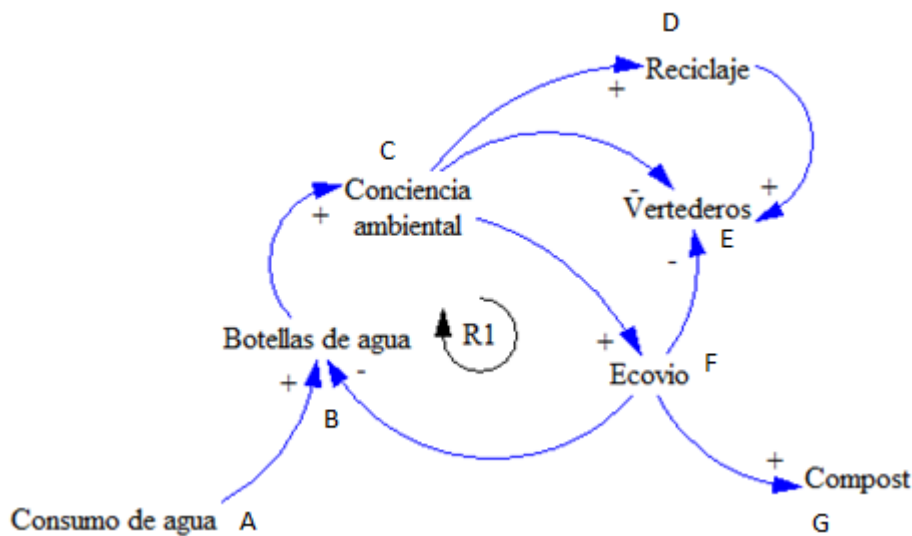
- Al aumentar la utilización de botellas hechas de Ecovio®, la cantidad de residuos plásticos en los vertederos disminuiría con el tiempo. El lazo causal entre las variables sería negativo.
- El Ecovio® se desecha en una planta de compostaje, donde el producto final es compost o abono.
- Al aumentar la cantidad de botellas de Ecovio® en el sistema, aumentaría la cantidad de compost también. Lo anterior hace del lazo, un lazo positivo.

c. Lazo F-B:

- Al aumentar la utilización de botellas de Ecovio® en el sistema como reemplazo de las botellas de PET, la cantidad de botellas de agua hechas de plástico disminuiría en el sistema. Así, el lazo en este caso es negativo.

Cabe resaltar que se puede considerar este sistema como estable, debido a que el número de lazos negativos es impar.

Figura 23. Relaciones de causalidad del sistema de disposición de botellas de agua en Colombia si se hace el reemplazo del envase de plástico tradicional por uno hecho con Ecovio®. (Elaboración propia)



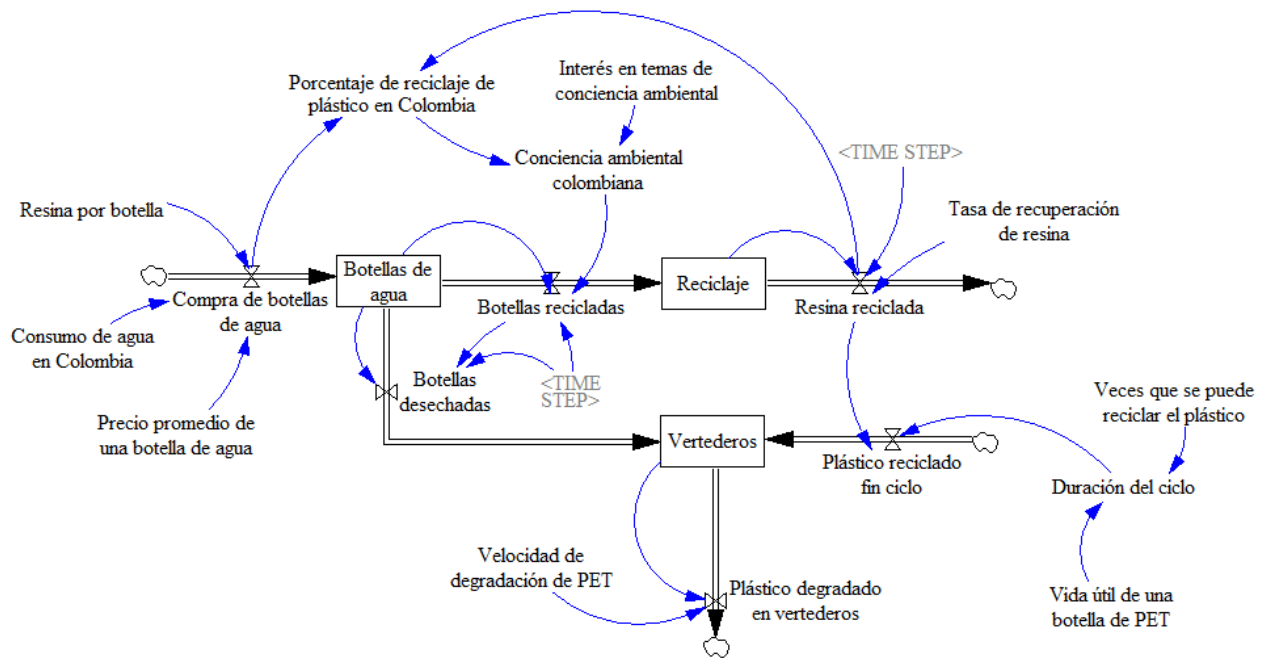
Fuente: Elaboración propia.

7.2.3 ANÁLISIS DE ENTRADA

El modelo de dinámica de sistemas elaborado en Vensim® (o diagrama de Forrester) entonces quedó estructurado como se puede ver en la

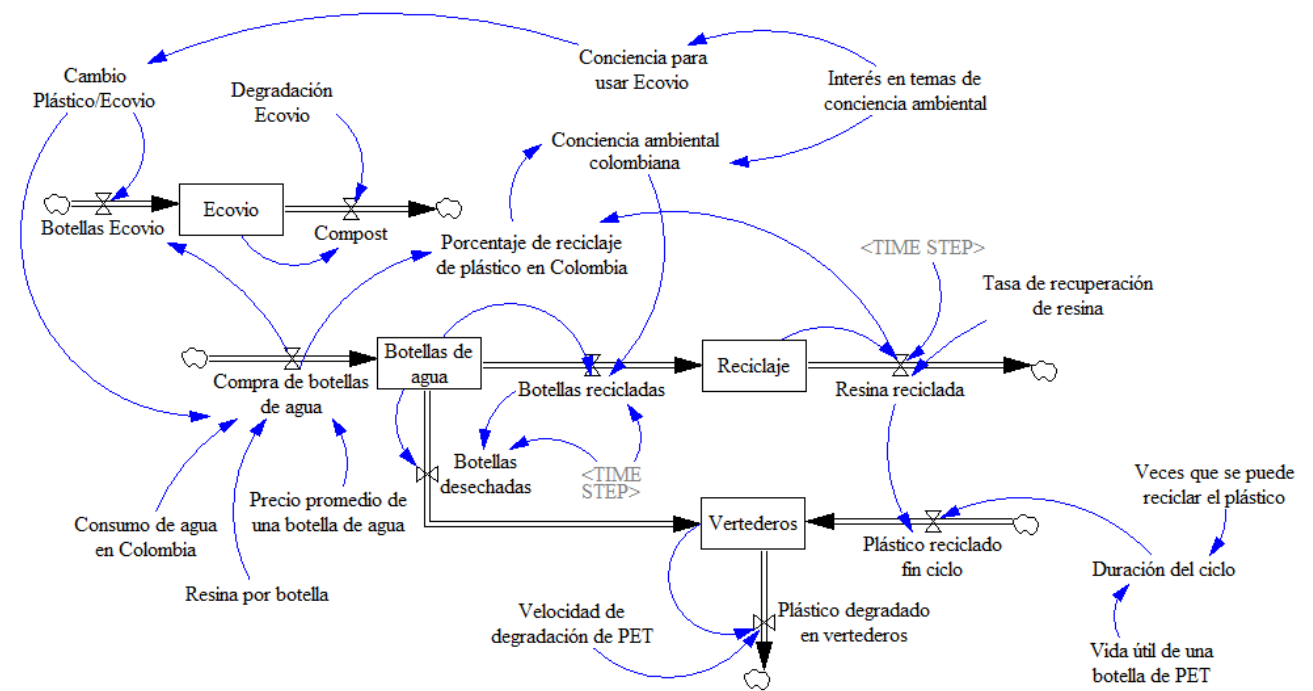
Figura 24 y la Figura 25.

Figura 24. Modelo de Vensim® del sistema actual de disposición de botellas de agua en Colombia. (Elaboración propia)



Fuente: Sistema central del modelo. Elaboración propia.

Figura 25. Modelo de Vensim® del sistema de disposición de botellas de agua en Colombia si se hace el reemplazo del envase de plástico tradicional por uno hecho con Ecovio®. (Elaboración propia)



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 15, se presenta la naturaleza de cada una de las variables utilizadas en los diagramas de Forrester. Las variables que acumulan en el sistema poseen una naturaleza de niveles, como lo es la cantidad de botellas de agua (de plástico) en el sistema, el reciclaje o cantidad de plástico reciclado en el sistema, los vertederos que por su naturaleza de lugar de desecho acumula material, y las botellas de Ecovio® en el sistema (estas se introducen en el modelo modificado con la variable adicional del Ecovio®).

Por otra parte, se pueden observar los parámetros, o variables que son constantes y que permiten completar los cálculos del sistema. Aquí se encuentran el consumo de agua (embotellada) en Colombia, el precio promedio de una botella de agua, el porcentaje de reciclaje de plástico en Colombia, la conciencia ambiental colombiana (que, por ser una variable más cualitativa, se presenta como un porcentaje. Esto se explicará en la sección 7.2.4.), el interés en temas de conciencia ambiental (como el reciclaje), la tasa de recuperación de resina durante el reciclaje de una botella de PET, la resina de PET que hay en promedio en una botella de agua en Colombia, el tiempo de degradación de una botella de PET en el sistema, las veces que se puede reciclar el plástico, la vida útil de una botella de PET y la duración del ciclo de vida de una botella de PET. Cada parámetro se sustenta en datos recolectados de diversas fuentes primarias a lo largo de este estudio y se presentan en detalle en el Anexo 1, junto con el respectivo tratamiento de los datos para poder ser incluidos como parámetros dentro del modelo de dinámica de sistemas.

Finalmente, las tasas o variables cuya naturaleza es definir las razones o ratas dentro del sistema, ayudaron a realizar todos los cálculos necesarios y a completar el análisis dimensional dentro del modelo. Dentro de estas se encuentran la compra de botellas de agua en Colombia, las botellas desechadas (aquellas que van directo a vertederos sin separación de residuos), las botellas recicladas, la resina de PET reciclada (se refiere a la eficiencia del reciclaje del PET en Colombia), el plástico degradado en los vertederos y el plástico reciclado fin de ciclo, que se refiere al plástico que ya no se puede volver a reciclar y debe ser finalmente desechado (va a los vertederos).

Tabla 15. Tasas, parámetros y niveles del sistema. (Elaboración propia).

VARIABLE	NATURALEZA	Unidades
CONSUMO DE AGUA EN COLOMBIA	Parámetro	COP bn (billones)
BOTELLAS DE AGUA	Nivel	kg*
PRECIO PROMEDIO DE UNA BOTELLA DE AGUA	Parámetro	COP

COMPRA DE BOTELLAS DE AGUA	Tasa	kg/año
BOTELLAS DESECHADAS	Tasa	kg/año
BOTELLAS RECICLADAS	Tasa	kg/año
PORCENTAJE DE RECICLAJE DE PLÁSTICO EN COLOMBIA	Parámetro	Dmnl (dimensionless)
CONCIENCIA AMBIENTAL COLOMBIANA	Parámetro	Dmnl
INTERÉS EN TEMAS DE CONCIENCIA AMBIENTAL	Parámetro	Dmnl
RECICLAJE	Nivel	Kg
RESINA RECICLADA	Tasa	kg/año
TASA DE RECUPERACIÓN DE RESINA	Parámetro	Dmnl
RESINA POR BOTELLA	Parámetro	Kg
VERTEDEROS	Nivel	Kg
PLÁSTICO DEGRADADO EN VERTEDROS	Tasa	kg/año
VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN DEL PET	Parámetro	Año
PLÁSTICO RECICLADO FIN CICLO	Tasa	kg/año
DURACIÓN CICLO	Parámetro	Año
VIDA ÚTIL DE UNA BOTELLA DE PET	Parámetro	Año
VECES QUE SE PUEDE RECICLAR EL PLÁSTICO	Parámetro	Dmnl
ECOVIO	Nivel	Kg
COMPOST	Tasa	kg/año
DEGRADACIÓN DEL ECOVIO	Parámetro	Año
CONCIENCIA PARA USAR ECOVIO	Parámetro	Dmnl
BOTELLAS DE ECOVIO	Tasa	kg/año
CAMBIO PLÁSTICO/ECOVIO	Parámetro	Dmnl

Fuente: Elaboración propia.

7.2.4 APROXIMACIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO

El soporte matemático del modelo que incluye la definición de las ecuaciones básicas de cada variable según su naturaleza es:

$$(1) \text{ Compra de botellas de agua } (t) = \frac{\text{Consumo de agua en Colombia}}{\text{Precio promedio de una botella de agua}}$$

$$(2) \frac{d\text{Botella de agua } (t)}{dt} = \text{Compra de botellas de agua } (t) - \text{Botellas recicladas } (t) - \text{Botellas desechadas } (t)$$

$$(3) \text{Botellas recicladas } (t) = \text{Conciencia ambiental colombiana} * \text{Botellas de agua } (t)$$

$$(4) \text{Botellas desechadas} = \text{Botellas de agua } (t) - \text{Botellas recicladas } (t)$$

$$(5) \frac{d\text{Vertederos } (t)}{dt} = \text{Botellas desechadas } (t) + \text{Plástico reciclado fin ciclo } (t) - \text{Plástico degradado en vertederos } (t)$$

$$(6) \text{Plástico degradado en vertederos } (t) = \text{DELAY FIXED}\left(\frac{d\text{Vertederos } (t)}{dt}, \text{Velocidad de degradación de PET}, 0\right)$$

$$(7) \text{Plástico reciclado fin ciclo } (t) = \text{DELAY FIXED}(\text{Resina reciclada } (t), \text{Duración ciclo}, 0)$$

$$(8) \text{Duración ciclo} = \text{Veces que se puede reciclar el plástico} * \text{Vida útil de una botella de PET}$$

$$(9) \frac{d\text{Reciclaje } (t)}{dt} = \text{Botellas recicladas } (t) - \text{Resina reciclada } (t)$$

$$(10) \text{Resina reciclada } (t) = \text{Reciclaje } (t) * \text{Tasa de recuperación de resina}$$

$$(11) \text{Conciencia ambiental colombiana} = \text{Interés en temas de conciencia ambiental} * 0.7 + \text{Porcentaje de reciclaje de plástico en Colombia} * 0.3$$

$$(12) \text{Porcentaje de reciclaje de plástico en Colombia} = \frac{\text{Resina reciclada } (t)}{\text{Compra de botellas de agua } (t)}$$

Las ecuaciones (1) a (12) son las mismas que para el modelo actual. Al perturbar el modelo con la introducción del Ecovio® surgen cuatro ecuaciones adicionales:

$$(13) \text{Botellas de Ecovio } (t) = \text{Compra de botellas de agua } (t) * \text{Cambio plástico/Ecovio}$$

$$(14) \frac{d\text{Ecovio } (t)}{dt} = \text{Botellas de Ecovio } (t) - \text{Compost } (t)$$

$$(15) \text{Compost } (t) = \text{Ecovio } (t) * \text{Degradación Ecovio}$$

(16) *Conciencia para usar Ecovio = Interés en temas de conciencia ambiental*

En este punto, es importante explicar el porqué se incluye la variable conciencia ambiental dentro del modelo y la forma como fue modelada e introducida al sistema. Esto ya que es una variable de carácter cualitativo o blando, a diferencia de las otras, que son cuantitativas y muy concretas en su definición numérica.

La Conciencia Ambiental es el sistema compuesto por las experiencias y conocimientos que una persona utiliza de manera activa al relacionarse con el medio ambiente. Una de las más reconocidas definiciones propone que este concepto debe ser estudiado en torno a cuatro factores importantes: la dimensión cognitiva o relacionada a la información y conocimiento que se tenga sobre el impacto al medio ambiente, la dimensión afectiva o creencias y valores sobre el medio ambiente, la dimensión conativa o actitudes hacia el medio ambiente y su cuidado, y la dimensión activa o comportamientos y acciones que impactan el medio ambiente (Gomera M., Villamandos de la T., & Vaquero A., 2012).

Según el modelo de Fietkau (Kollmuss & Agyeman, 2002), el conocimiento no afecta directamente el comportamiento ambiental. De hecho, la mayoría de investigadores aceptan que el comportamiento pro-ambiental solo puede ser relacionado en una pequeña parte con la conciencia ambiental.

De la misma manera, existen estudios como el de Diekmann donde se muestra que las acciones de bajo costo como el reciclaje, están significativa y directamente relacionadas con la conciencia ambiental y comportamiento pro-ambiental. Muestran que las personas con alta conciencia ambiental, se enganchan en actividades como el reciclaje de residuos (Kollmuss & Agyeman, 2002)

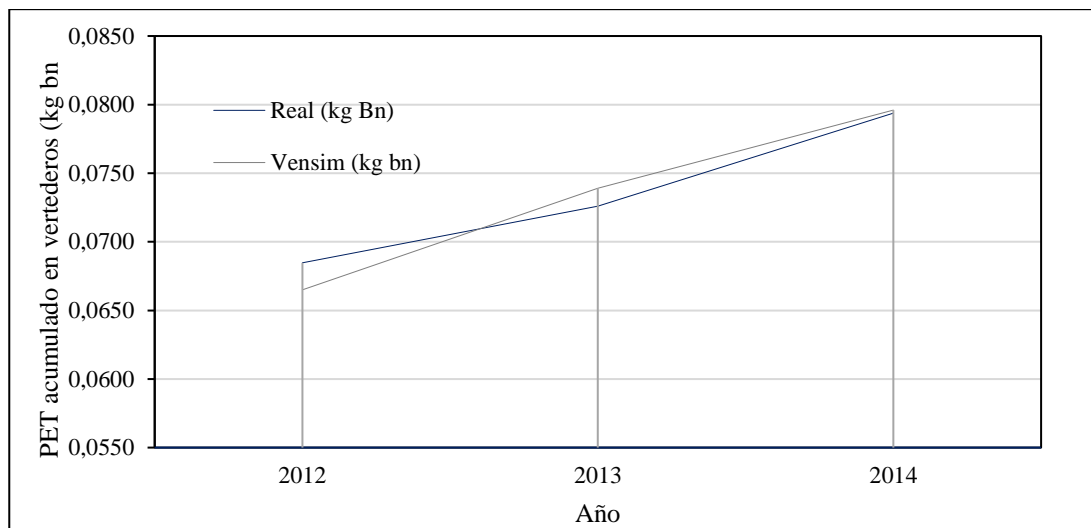
De acuerdo con lo anterior, en este modelo se propone utilizar la dimensión afectiva/conativa y activa como factores fundamentales en la conciencia ambiental. De igual manera, se propone incluir la dimensión afectiva/conativa como el interés en temas de conciencia ambiental, medido con las tendencias de búsqueda de Google Trends, y la dimensión activa desde los factores de bajo costo que mueven más fácilmente a la población como lo es el reciclaje y separación de residuos.

7.2.5 SIMULACIÓN Y RESULTADOS

Validación de resultados: Se puede definir que el sistema actual representa adecuadamente el sistema real, ya que para 2014, se sabe existió en Colombia una generación de residuos sólidos de 21,1 millones de toneladas (DANE, 2016). De este total, aproximadamente el 10 %

corresponde a plástico (UAESP & JICA, 2013). Dentro del plástico, se estima un 6 % sea correspondiente a PET (Aluna Consultores Limitada, 2011). El valor de botellas de PET en el sistema real se calculó y se comparó con los resultados de la simulación en el sistema actual como se puede ver en la Figura 26.

Figura 26. Valores reales y simulados de PET acumulado en vertederos en Colombia. (Elaboración propia)



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la prueba T realizada fueron no significativos para la diferencia de medias (p-value: 0,978, con significancia de 0,05), por lo cual se considera que las medias son iguales. Los resultados del análisis se muestran en el Anexo 2. Lo anterior muestra que los cálculos realizados son adecuados para modelar el sistema real.

Se espera que de acuerdo con el crecimiento que viene mostrando el mercado de agua en botella, y al manejo que se da en Colombia de los plásticos, donde únicamente se recicla un 27,5 % (Aluna Consultores Limitada, 2011), exista también una tendencia creciente de la acumulación de PET en vertederos y que teniendo en cuenta la velocidad de degradación de 500 años, la acumulación se de en el largo plazo.

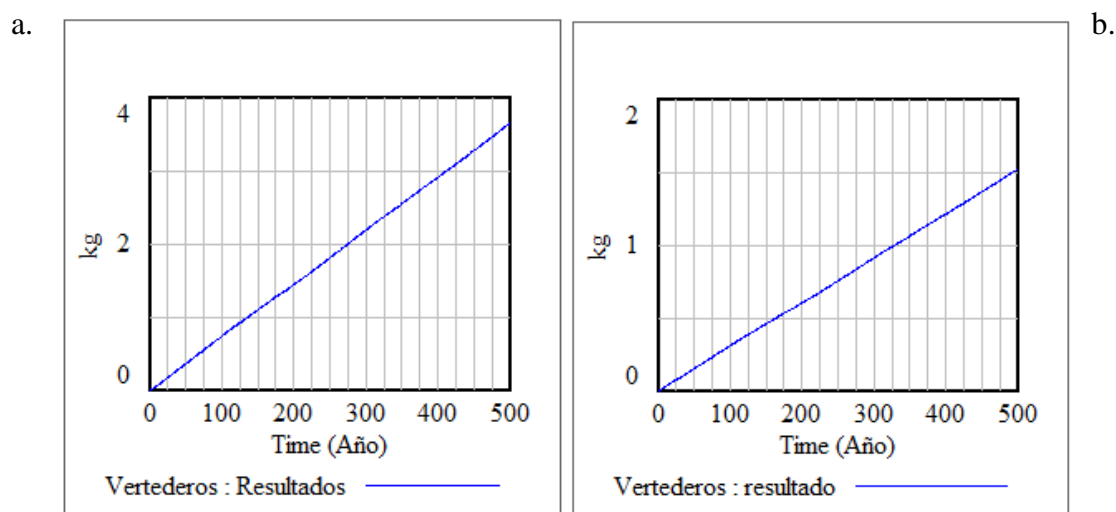
En la Tabla 16 y Figura 27, se pueden observar los resultados obtenidos.

Tabla 16. Resultados obtenidos. (Elaboración propia)

Resultado	Sistema actual	Con Ecovio®	Variación
Plástico en vertederos (kg bn)	3.65	1.52	-58.3%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Gráficas de acumulación de PET en vertederos para a) sistema actual y b) sistema con Ecovio® (kg bn). (Elaboración propia)



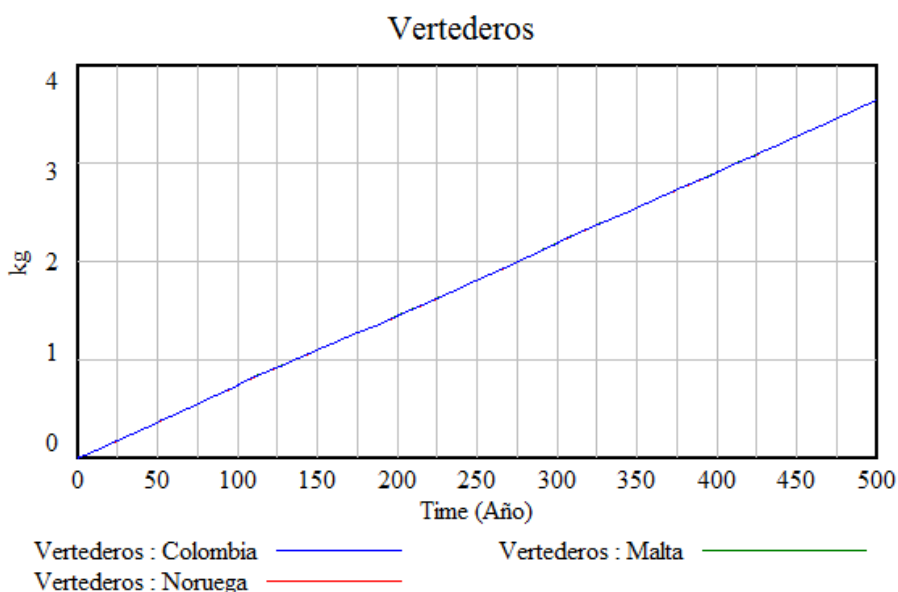
Fuente: Elaboración propia.

Al realizar la simulación del sistema con las condiciones actuales de consumo de agua embotellada, reciclaje de plástico en Colombia y actual conciencia ambiental definida, se puede observar que se estima una acumulación total de PET en vertederos de 3,65 billones de kg luego de 500 años. Sin embargo, al agregar una variable nueva, el Ecovio®, en el sistema se puede observar como bajo las mismas condiciones generales, se obtiene una acumulación total de PET en vertederos de 1,52 billones de kg luego de 500 años. Lo anterior corresponde a una reducción de acumulación de PET en el sistema de 58%. Esto es una reducción importante, que permite evidenciar que la transformación del envase de agua actual en Colombia debe llevarse a cabo, en este caso con Ecovio® como material sustituto al PET. La Figura 27 permite observar la tendencia de acumulación de PET en el sistema luego de 500 años, en ambos casos, y muestra claramente la disminución de plástico acumulado, gracias al reemplazo de PET por Ecovio® y a las propiedades del material que lo hacen 100% compostable y que puede ser biodegradado en 26 semanas.

Escenarios: Para analizar los resultados obtenidos, se revisarán dos escenarios adicionales y los resultados finales de acumulación de plástico en los vertederos. Los escenarios permitirán entender la influencia de la tasa de reciclaje en Colombia y así poder mostrar que se requiere una política de carácter complejo, que altere la estructura misma del modelo, en este caso la inclusión del Ecovio® en el sistema, para poder obtener una disminución considerable de acumulación de plásticos en el entorno colombiano. Los escenarios presentarán una tasa de

reciclaje de plástico de países desarrollados como Noruega y Alemania cercana al 40 % y una tasa de reciclaje de las más bajas de Europa, como la de Malta, cercana al 13 % (Prieto Cruz *et al.*, 2016). Aquí se debe recordar que la tasa de reciclaje de plásticos en Colombia es de 27,5 %. En la Figura 28 se pueden ver los resultados obtenidos.

Figura 28. Gráficas de acumulación de PET en vertederos para escenario negativo (Malta, tasa de reciclaje: 13%) y escenario positivo (Noruega, tasa de reciclaje: 40%) (kg bn). (Elaboración propia)



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 28, debido al largo período de tiempo simulado, el resultado con las tasas de reciclaje estudiadas no se puede diferenciar adecuadamente. Esto sucede, debido a que antes de 50 años, existe una diferencia que se da por el reciclaje mayor o menor de residuos plásticos; sin embargo, después de más de 100 años, la acumulación es la misma, en cualquier caso. Lo anterior se debe a que el reciclaje no se hace por un período indefinido, el plástico se recicla en promedio unas 4 a 5 veces como se ha mencionado antes, y luego, finalmente, termina desechándose. A medida que esto pasa, sigue produciéndose nuevo plástico y como se mencionó anteriormente, el período de degradación es tan largo que la acumulación igual se da. En la Tabla 17, se puede observar cómo el resultado arrojado por la simulación en cuanto a acumulación de residuos plásticos en el sistema va variando al pasar el tiempo para cada escenario propuesto.

Tabla 17. Acumulación de PET en vertederos para escenario negativo (Malta, tasa de reciclaje: 13%) y escenario positivo (Noruega, tasa de reciclaje: 40%), comparado con escenario base en el caso Colombiano (kg bn). (Elaboración propia)

	Año	1	Dif.	10	Dif.	50	Dif.	100	Dif.	175	Dif.	500	Dif.
kg bn	Colombia	0.0026662		0.0609166		0.360822		0.735007		1.27407		3.64831	
	Noruega	0.0024699	-7.4%	0.0604204	-0.8%	0.360101	-0.2%	0.734382	-0.1%	1.27361	0.0%	3.64773	0.0%
	Malta	0.002894	8.5%	0.0614923	0.9%	0.361659	0.2%	0.735731	0.1%	1.2746	0.0%	3.64899	0.0%

Fuente: Elaboración propia basada en resultados de Vensim@.

Figura 29. Resultados Vensim@ para Acumulación de PET en vertederos para escenario negativo (Malta, tasa de reciclaje: 13%) y escenario positivo (Noruega, tasa de reciclaje: 40%), comparado con escenario base en el caso Colombiano (kg bn). (Elaboración propia)

Time (Año)	1	10	50	100	175	500
"Vertederos" Runs:	Colombia					
Vertederos	0.00266622	0.0609166	0.360822	0.735007	1.27407	3.64831
: Noruega	0.0024699	0.0604204	0.360101	0.734382	1.27361	3.64773
: Malta	0.00289395	0.0614923	0.361659	0.735731	1.2746	3.64899

Fuente: Elaboración propia basada en resultados de Vensim@.

De acuerdo con lo anterior, es importante entender que se requiere un cambio radical en el manejo de los residuos plásticos en Colombia, no únicamente apoyar el reciclaje de estos, ya que esta medida sería de corto a mediano plazo, más no una medida definitiva en el largo plazo. Lo anterior se evidenció en el trabajo de Ocoro (Ocoro & Chavarro, 2014) donde luego de simular diferentes tasas de reciclaje de PET a través del uso de la dinámica de sistemas, el comportamiento del crecimiento o acumulación de PET en el sistema no varió significativamente. De igual manera luego del estudio realizado, allí se sugiere que el reciclaje no es una medida eficiente en el largo plazo.

Para cambiar es necesario empezar a utilizar materiales diferentes al plástico en envases de alimentos de consumo masivo como el agua, elegir una alternativa como el Ecovio® que reemplace los plásticos en una mayor proporción cada vez o por qué no en una forma definitiva si existe ayuda regulatoria, nos permitiría cambiar el rumbo del impacto ambiental que los plásticos tienen en nuestros ecosistemas.

7.3 TERCERA PARTE

Diseño del modelo de negocio para el envase de agua hecho con Ecovio® en Colombia

7.3.1 CONTEXTO ESTRATÉGICO

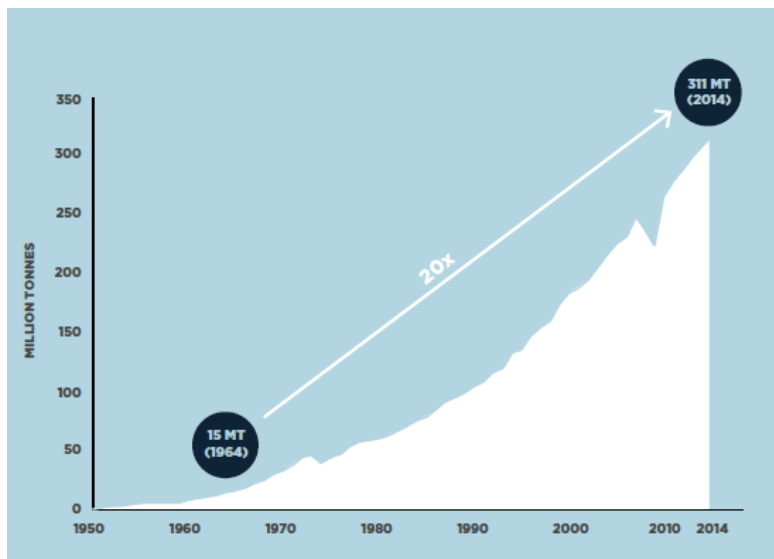
Tendencias de la industria

En la actualidad, la sostenibilidad y manejo de negocios que se saben son potencialmente problemáticos para la sociedad y el medio ambiente en el futuro, se están empezando a solucionar o, al menos planteando una posible solución a través del concepto de economía circular. De esta manera, se busca también en la industria de los plásticos, utilizar dicho concepto de minimizar la producción de residuos desde la fuente y los residuos finalmente generados, lograr disponerlos de la forma más eficiente de tal forma que puedan retornar al ciclo del material o sean tratados de tal manera que generen el menor impacto en el medio ambiente.

Dentro de la Agenda para el Desarrollo Sostenible para 2030, aceptada por los 193 miembros de la ONU en 2015, se comprometieron las diferentes naciones a tomar acciones para transformar la forma en que se manejan los diferentes sectores productivos para crear un mundo más sostenible (Ellen MacArthur Foundation *et al.*, 2016). De acuerdo con lo anterior, la industria de los plásticos se ve forzada a tomar un camino distinto. Es un hecho que estos materiales tienen beneficios y que la industria moderna en muchos aspectos se basa en estos materiales que tienen propiedades funcionales únicas y su costo es bajo, pero también debido a su largo ciclo de vida están ya generando problemas ambientales que no se pueden ignorar y que se están tratando de revisar desde los gremios y asociaciones de productores y consumidores de plástico a nivel mundial.

Como se puede ver en la Figura 30, la industria del plástico ha crecido veinte veces su tamaño original desde 1964 y se espera que se doble nuevamente en los próximos veinte años su consumo, y se cuadruplique su tamaño para el año 2050. Solo en 2014, se produjeron 311 millones de toneladas en el mundo. Lo más preocupante es que a nivel mundial solo se recicla el 14 % del plástico utilizado (Ellen MacArthur Foundation *et al.*, 2016).

Figura 30. Evolución del consumo de plásticos a nivel mundial, 1950-2014. (Ellen MacArthur Foundation *et al.*, 2016)



Fuente: (Ellen MacArthur Foundation *et al.*, 2016)

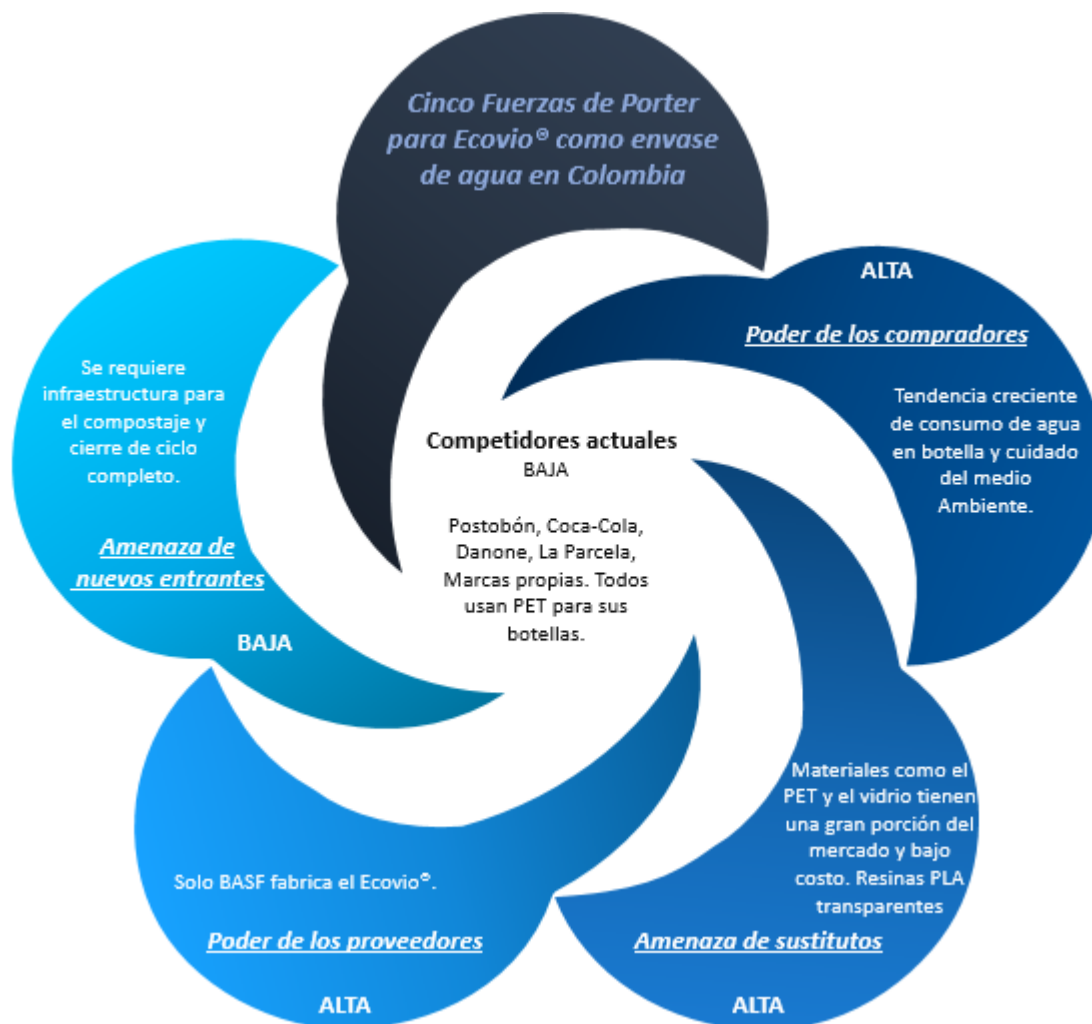
Las tendencias dentro de esta industria apuntan a:

1. Reutilización y reciclaje de los plásticos producidos.
2. Desacople de materias primas fósiles.
3. Migración a plásticos biodegradables y compostables, sobre todo en aplicaciones de consumo masivo.
4. Desmaterialización de los envases, cada vez contienen menos plástico para cumplir su función.

Es importante resaltar que respecto a los consumidores, se ha podido establecer que estos verían un valor en el uso de biopolímeros para envases, si existe la infraestructura para manejar el residuo generado hasta cerrar su ciclo y estar totalmente degradado (Weber, 2000).

Cinco fuerzas de Porter

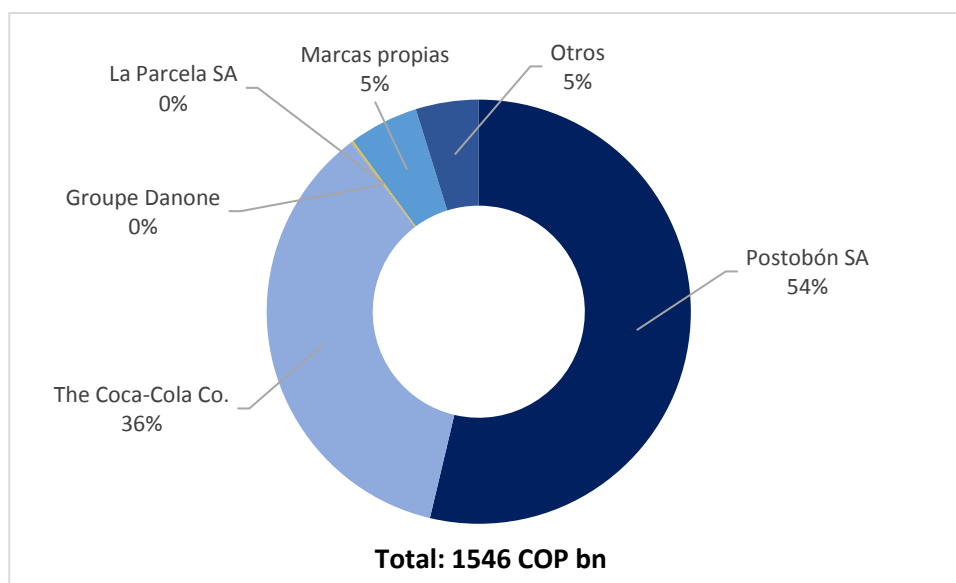
Figura 31. Análisis de las cinco fuerzas de Porter para el Ecovio® como material del envase de agua embotellada en Colombia. (Elaboración propia)



Fuente: Elaboración propia.

Rivalidad entre competidores actuales: En la actualidad en Colombia no existe ningún proveedor de agua en botella que utilice el Ecovio® o cualquier otro biopolímero como material para su envase. En este sentido, la fuerza es baja pues no hay una rivalidad entre competidores, no existen los competidores aún. No obstante, se deben tener en cuenta los principales actores de la industria del agua en botella: Postobón es el líder, con su marca Cristal, seguido de Coca-Cola con Brisa y Manantial. El resto de actores como Danone con su marca Evian, La Parcela, y las marcas propias como la marca Éxito, suman aproximadamente el 10 % del mercado en valor.

Figura 32. SOM agua embotellada en Colombia por compañía. (Elaboración propia, basado en (Euromonitor International, 2017a))



Fuente: Elaboración propia, basado en (Euromonitor International, 2017a)

Amenaza de nuevos entrantes: Para poder crear una empresa que utilice el Ecovio® como material de envase y lograr aprovechar todo el potencial de disminuir drásticamente el impacto ambiental de la acumulación de residuos, se requiere cerrar el ciclo. Esto implica, tener acceso a una planta de compostaje donde se pueda llevar a cabo el proceso de degradación del material. En Colombia hay pocas plantas de compostaje y la gran parte de estas son de empresas privadas como las azucareras o de poblaciones pequeñas. Para poder explotar las ventajas de utilizar el Ecovio®, se requiere una planta de compostaje acorde con el consumo de envases, por lo cual se debería bien sea hacer una alianza con dueños existentes de plantas de compostaje o construir una planta propia. Esto hace que la amenaza de nuevos entrantes una vez establecido el negocio sea baja.

Poder de los proveedores: El Ecovio® es un material único de BASF, por esta razón, se tendría un único proveedor directo. Esto hace que el poder del proveedor sea alto y las decisiones que tome este afecten directamente la empresa que utilice este material como alternativa al PET.

Poder de los compradores: Como se ha expuesto anteriormente en este trabajo, el mercado de agua en botella en Colombia viene creciendo desde los últimos años a un CAGR de 9,5 % (2002-2016) y apalanca el crecimiento de las bebidas no alcohólicas en el mundo (Euromonitor International, 2017b). Esto sumado con la tendencia global de consumo de comida más verde

(Kasriel-Alexander, 2017) y cuidado del medio ambiente, dan a los consumidores un poder muy alto de decisión a la hora de comprar el producto. Por otra parte, el agua es un producto de consumo masivo y venta en su mayoría de retail, lo cual hace que la decisión de compra quede directamente en los consumidores colombianos.

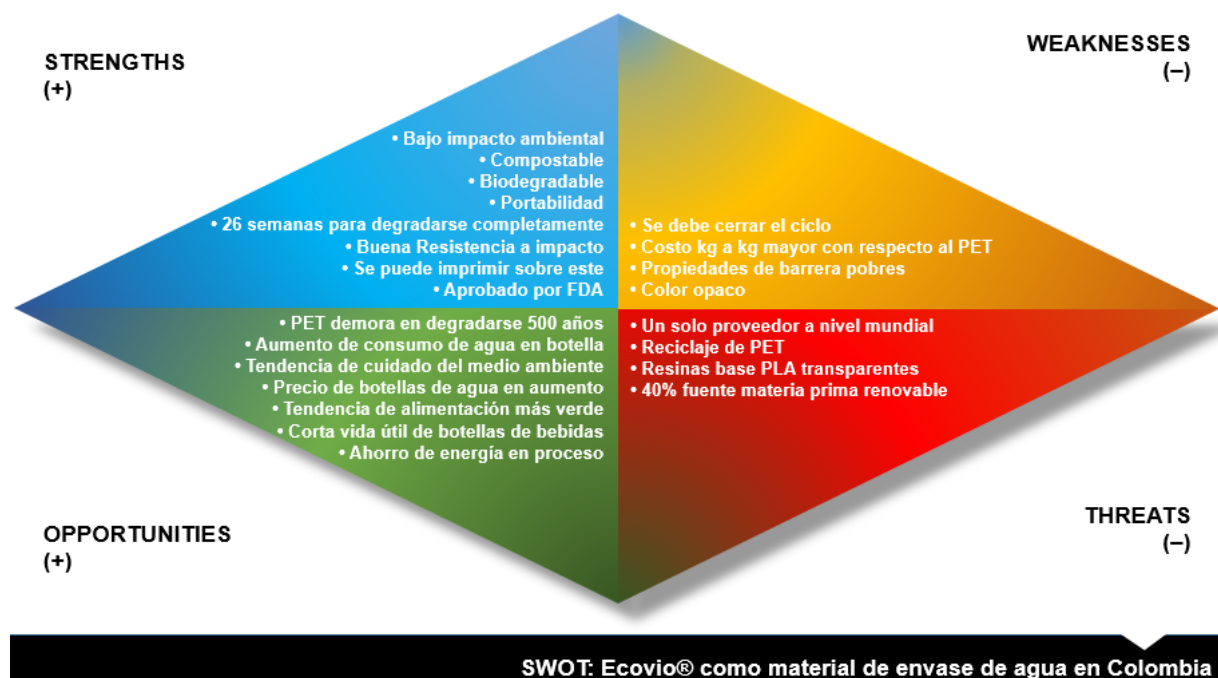
Amenaza de los sustitutos: El sustituto más importante que amenaza al Ecovio® como material de envase de agua en botella es el mismo PET, material actual de envase de agua predominante. El PET tiene propiedades de barrera muy buenas, buena resistencia a golpes y esfuerzos, y un precio bajo. Aun así, es un material que demora en degradarse aproximadamente 500 años y esto juega en su contra.

Por otra parte, se tiene el vidrio, otro material utilizado en botellas de agua, mayormente en el mercado *on-trade* es decir en restaurantes y otros locales donde se consume el agua en el momento de la compra. Este material, sin embargo, no permite la portabilidad que permiten el PET y el Ecovio®, ya que es más susceptible de romperse. De hecho, la característica de conveniencia y portabilidad del agua es una razón de peso que influencia el crecimiento de este mercado (Euromonitor International, 2016b).

Existe una resina llamada Ingeo®, la cual es producida por la empresa NatureWorks en Estados Unidos y es transparente. Esta resina es utilizada en una botella de agua compostable hecha en USA, de la empresa Biota (BIOTA Spring Water, n.d.). Esta resina es transparente, lo cual la hace un sustituto interesante para el PET y que amenaza al Ecovio® como material de envase de botellas de agua. Sin embargo, en Colombia no existe una aplicación para botellas desarrollada y la importación de la resina solo se hace a través de dos importadores colombianos, Plasdecol y Quimicoplásticos (Sisduan Colombia, 2016a). Los dos para aplicación en desechables. Por otra parte, esta resina es PLA puro, un material que por su naturaleza es muy rígido y, por lo tanto, no es fácil el manejo ni del proceso ni de los productos terminado, pues se rompen fácilmente.

Matriz SWOT

Figura 33. Análisis SWOT del Ecovio® como material de envase de agua embotellada en Colombia. (Elaboración propia).



Fuente: Elaboración propia.

Strengths:

El Ecovio® es un material con diferentes bondades y fortalezas. Su degradación es total bajo condiciones de compostaje adecuadas (microorganismos, pH, humedad y oxígeno) y este proceso toma en total 26 semanas. Luego de este tiempo, se produce CO₂, biomasa (abono) y agua. De esta manera, se puede utilizar el producto final de su degradación como abono para paisajismo o para cultivos agrícolas. Esto hace que comparado con el PET que demora en degradarse siglos, sea un material de bajo impacto ambiental. Es un material que puede ser decorado de cualquier manera, ya que es posible imprimir sobre este sin problema alguno y sin necesidad de tratamiento de corona, dando oportunidades distintas de diseños sobre su superficie. Permite portabilidad y conveniencia al momento de llevar el agua con el consumidor a donde quiera que vaya sin riesgo de que el recipiente se rompa con la manipulación propia de una botella de bebida. Posee una buena resistencia a impactos, sobre todo en su versión expandida y tiene aprobación de la FDA para contacto con alimentos.

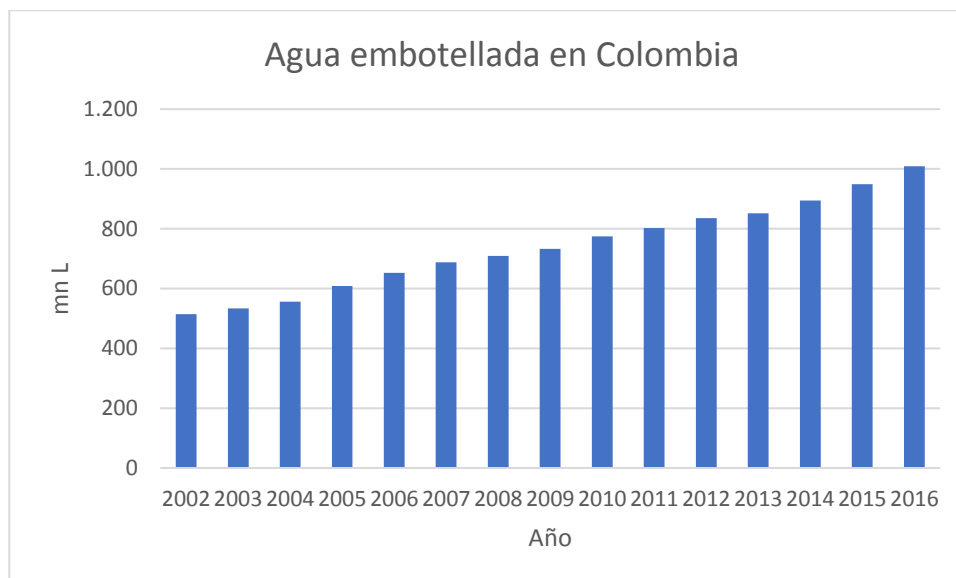
Opportunities:

Existen diferentes oportunidades para el Ecovio® como material de envase de agua en botella. La primera es el largo ciclo de vida del PET, alrededor de 500 años para degradarse,

existe un bajo reciclaje de plástico en Colombia y en el mundo y además está cuantificado que ceca del 95 % del valor de los empaques de plástico utilizado hoy en día se pierde después de su primer uso (Ellen MacArthur Foundation *et al.*, 2016). Por otra parte, la vida útil de una botella de PET para bebidas no retornable va de 1 a 6 meses, un ciclo de vida bastante corto para su largo período de degradación. Esto hace que la necesidad de buscar alternativas a los plásticos como material de empaque cobre una relevancia importante a nivel mundial y local.

Lo anterior se suma a la tendencia creciente del mercado de agua embotellada en el mundo y en Colombia en los últimos años. En Colombia se puede ver cómo desde 2002 ha venido creciendo año a año.

Figura 34. Comportamiento del mercado de agua en Colombia, 2002-2016. (Elaboración propia basado en (Euromonitor International, 2017b))



Fuente: (Elaboración propia basado en (Euromonitor International, 2017b))

Esto sumado a la tendencia mundial de alimentación más verde y saludable y al cuidado y preocupación creciente a nivel mundial por el medio ambiente hacen que existan oportunidades importantes de crecimiento. Por otra parte, las botellas de agua han venido aumentando de precio debido a la gran oferta que existe en Colombia y preferencia por el consumo de agua en botella. Viene creciendo por encima de la inflación, en promedio un 6 % anual (Euromonitor International, 2016b).

Finalmente, existe en el momento de procesar el Ecovio® para hacer las botellas, un ahorro de energía en el proceso. Esto debido a que la temperatura de operación del Ecovio® es de 160-200 °C, mientras el PET cristalino debe trabajarse a temperaturas de 250-300 °C (Bernardo,

Mondati, Pacheco, & Prosetti, 2003). La diferencia de mínimo 50 °C entre las temperaturas de proceso, hace que la empresa que decida fabricar botellas de Ecovio®, obtenga un ahorro relacionado a la necesidad de calentar los equipos únicamente al 75 % de la temperatura necesaria para procesar el PET. Se sabe que el costo de la energía es uno de los factores de mayor peso dentro de los costos totales de los procesos productivos (Melorose, Perroy, & Careas, 2015), por lo cual esta diferencia en temperatura de proceso presenta una gran oportunidad para la utilización del Ecovio® como material de envase.

Weaknesses:

A pesar de que el Ecovio® posee muchas ventajas frente a los plásticos, también es importante reconocer las debilidades para poder sortear las dificultades que de estas se deriven. La más importante es que para poder aprovechar todo el potencial de bajo impacto ambiental del material, se debe trabajar en un ciclo cerrado, que termine en un compostaje adecuado de los residuos generados. Esto puede representar un riesgo, en caso de no manejarse de forma adecuada la recolección de los residuos para asegurarse que su disposición es óptima. Por otra parte, es necesario integrar la operación con una planta de compostaje industrial, lo cual implica una inversión adicional al comienzo del proyecto. Otra debilidad es el precio del material si se compara kg a kg con los plásticos tradicionales como el PET. El Ecovio® es un 200 % más caro por kg que el PET (Sisduan Colombia, 2016b). Las propiedades de barrera del Ecovio® no son muy buenas con respecto al PET. Esto hace que no sea viable utilizarlo por si solo para el envase de agua con gas, se debería hacer un recubrimiento con algún otro material como la policaprolactona, por ejemplo.

Finalmente, su color, es una debilidad a la hora de producir las botellas de agua. Estas son transparentes, y el Ecovio® tiene un color opaco. Tendría que utilizarse una etiqueta o proponer una imagen donde se pueda imprimir diseños interesantes sobre la botella, además de enfocarse en su valor ambiental.

Threats:

Las principales amenazas son el alto poder de los proveedores y el reciclaje. El Ecovio® es un material producido exclusivamente por BASF a nivel mundial y esto puede generar problemas a la hora de la negociación, ya que los precios serán definidos por un solo proveedor y además en caso de algún retraso en la producción del material, la empresa se vería afectada. Para esto se deberían mantener inventarios altos de seguridad con el fin de blindarse lo más posible a estas amenazas. Por otra parte, el reciclaje es un método muy promocionado a nivel

mundial como una manera de cuidar el medio ambiente. No obstante, los plásticos solo se reciclan en promedio 4 a 5 veces de forma exitosa, factor que no es conocido por la mayor parte de los consumidores. Se debe revisar cuidadosamente cómo informar sobre el impacto del reciclaje de plásticos y además dar a entender que se contribuye más con el medio ambiente y la sostenibilidad utilizando alternativas como el Ecovio® para la fabricación de envases que reciclando los hechos con plástico.

Las resinas transparentes compostables para elaboración de botellas, son también una amenaza para el Ecovio® como material de envase de agua. Existen resinas como el Ingeo® anteriormente mencionado y sobre el cual se ampliará la información en el benchmarking, que pueden amenazar su aplicación y uso. Sin embargo, esta resina es más rígida que el Ecovio y tiene una menor resistencia al impacto, por esta razón es complicado elaborar envases con este material que vayan dirigidos al mercado de consumo masivo.

Benchmarking

Para realizar el benchmarking, se tendrán en cuenta los proveedores en Colombia que comercializan envases que dicen ser biodegradables y compostables, exceptuando los productos de cartón, que salen de los límites de este trabajo y deberían estudiarse en una categoría distinta y aparte de los plásticos y bioplásticos. Actualmente no hay botellas de agua o bebidas comercializadas en el mercado masivo que sean hechas de este tipo de materiales, por lo cual se analizará todo tipo de envase de alimentos que diga cumplir con estas características.

Por otra parte, es importante revisar también casos de éxito a nivel mundial como el de Biota en Estados Unidos. La compañía BIOTA, envasa agua en la primera botella aprobada por el BPI (Instituto de productos biodegradables) como envase biodegradable bajo la norma ASTM 6400 utilizado comercialmente (Mojo & Holstorm, 2003). Según los tests realizados a la botella terminada, se estima que esta puede degradarse en un período de 75 a 80 días bajo condiciones de compostaje industrial (BIOTA Spring Water, n.d.).

Figura 35. Agua Biota, envasada en botella biodegradable y compostable con resina NatureWorks™ PLA. (Tecnología del Plástico, 2005)



Fuente: (Tecnología del Plástico, 2005)

La resina de NatureWorks se conoce como Ingeo®, ésta es una resina basada en PLA, compostable y es importada en Colombia por el grupo Phoenix, localmente conocido como Multidimensionales y dueño de las marcas Domingo, Rumba, GeoPack y FoodService (Grupo Phoenix, 2016). Ellos la utilizan principalmente para elaborar vasos desechables.

En la **Tabla 18**, se puede observar la síntesis del estudio realizado para los principales actores de este campo en Colombia.

Tabla 18. Benchmarking de envases biodegradables para alimentos en Colombia. (Elaboración propia, basada en (Sisduan Colombia, 2016a) e información directa de las empresas)

Empresa	Proveedor	Origen	Material	Tipo de producto	Unidad	Materia prima	Producto final mercado
						Valor unitario*	
Ecogreen	Zhejiang Wafa Ecosystem	China	Plástico de almidón de maíz	Desechables (platos, vasos y cubiertos)	Kg - Unidad	Importa producto terminado 2.33	Plato (20cm): 0.24 Vaso (10oz): 0.07 Cubierto: 0.05
Proplanet	Guangzhou Sure Win Trading	China	Papel prensado	Desechables (platos y bandejas)	Kg - Unidad	3.49	Tenían comercialización y producción de desechables biodegradables, hoy no manejan esta línea por estrategia de la empresa. Actualmente solo tienen inventario para dos meses.
ItGreen	No aparecen importaciones, deben comprar localmente.	-	PLA	Agua personalizada	Unidad	-	Pedidos de mínimo 2000 unidades. Traen la materia prima importada y en Colombia fabrican las botellas.
	No aparecen importaciones, deben comprar localmente.	-	Plástico de almidón de maíz	Desechables (platos, vasos y cubiertos)	Unidad	-	
Plasdecol - Multidimensionales	NatureWorks	USA	PLA	Vasos	Kg - Unidad	2.35	** Plato (20cm): 0.22 Vaso (10oz): 0.08

*CIF USD/kg para materia prima y USD/Unidad para producto final a una tasa de 3.000 COP/USD.

**Producto final línea GeoPack (vasos).

Fuente: Elaboración propia, basada en (Sisduan Colombia, 2016a) e información directa de las empresas.

Los productos finales manejados se pueden observar en la Figura 36 a la

Figura 41.

Ecogreen:

Figura 36. Foto de productos Ecogreen, Feria Verde, Bogotá, febrero 17 de 2017. (Elaboración propia)



Fuente: Elaboración propia.

ItGreen:

Figura 37. Productos desechables ItGreen. (ItGreen Colombia Soluciones Ambientales, n.d.-b)



Fuente: (ItGreen Colombia Soluciones Ambientales, n.d.-b)

Figura 38. Agua personalizada ItGreen. (ItGreen Colombia Soluciones Ambientales, n.d.-a)



Fuente: (ItGreen Colombia Soluciones Ambientales, n.d.-a)

Proplanet:

Figura 39. Productos Proplanet. (Proplanet SAS, 2017)



Fuente: (Proplanet SAS, 2017)

Multidimensionales:

Figura 40. Vaso GeoPack, Multidimensionales Colombia. (Grupo Phoenix Colombia - Multidimensionales, n.d.-a)



Fuente: (Grupo Phoenix Colombia - Multidimensionales, n.d.-a)

Figura 41. Línea GeoPack, Multidimensionales Colombia. (Grupo Phoenix Colombia - Multidimensionales, n.d.-b)



Fuente: (Grupo Phoenix Colombia - Multidimensionales, n.d.-b)

7.3.2 FORMULACIÓN Y SELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA

Las estrategias definidas se refieren a la propuesta de valor que tendrá el modelo de negocio para la transformación del envase de agua en Colombia por uno hecho con Ecovio®. Se tendrán en cuenta los siguientes atributos para definir la estrategia: Rentabilidad, operación, sostenibilidad y aceptación del cliente final. Para cada estrategia se revisará si tiene incidencia en lo social, ambiental o económico.

Se aplica la metodología de *Analytical Hierarchy Process* (AHP) teniendo en cuenta la siguiente escala para la evaluación subjetiva de los pesos entre cada categoría y cada estrategia:

Tabla 19. Escala de pesos para evaluación AHP. (Elaboración propia basado en (Hadad, 2015))

Escala	Definición
1	<i>Igual importancia</i>
3	<i>Importancia débil de una sobre la otra</i>
5	<i>Importancia esencial de una sobre la otra</i>
7	<i>Importancia demostrada de una sobre la otra</i>
9	<i>Importancia absoluta de una sobre la otra</i>

2,4,6,8	Valores intermedios
---------	---------------------

Fuente: Elaboración propia basado en (Hadad, 2015).

La metodología de AHP se basa en estructurar las decisiones sobre un problema mediante la descomposición del mismo en una jerarquía de elementos que se puedan analizar independientemente. Lo anterior permite que se puedan analizar aspectos tangibles e intangibles y llegar a decisiones apropiadas al problema planteado (Hadad, 2015).

En este sentido, se plantearán distintas estrategias para establecer el modelo de transformación del envase de agua en Colombia, como se puede ver en la Tabla 20.

Tabla 20. Estrategias planteadas para la transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia)

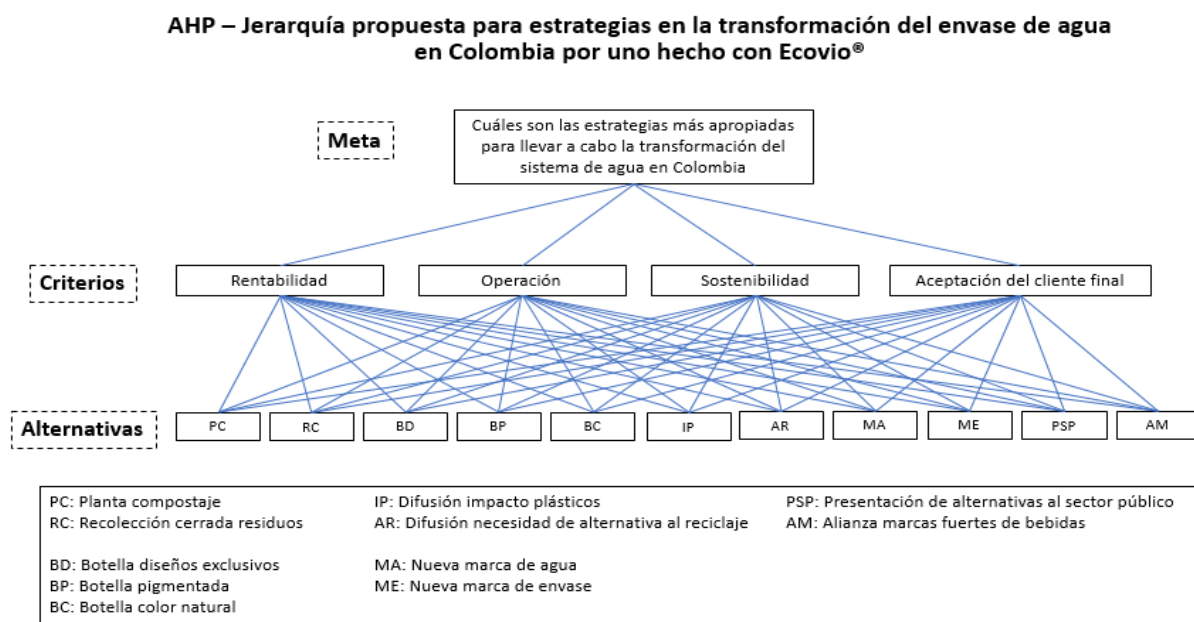
Categoría	Estrategias	Social	Económico	Ambiental
Manejo integral de residuos	Montaje de planta de compostaje para manejo de residuos de Ecovio	*	*	*
	Sistema de recolección cerrada de botellas de Ecovio utilizadas	*	*	*
Producto	Botella con diseños exclusivos impresos		*	
	Botella pigmentada		*	
	Botella color natural presentada como imagen amigable con medio ambiente		*	
Difusión de información	Plan de difusión de impacto de plásticos en el planeta	*		*
	Plan de difusión de necesidad de una solución distinta al reciclaje	*		*
Modelo de negocio	Creación de nueva marca de agua en botella con bajo impacto ambiental		*	*
	Creación de nueva marca de envase de agua con bajo impacto ambiental			*
Apoyo externo	Presentación de la alternativa a entidades públicas para obtener apoyo regulatorio	*	*	*
	Asociación con marcas fuertes del sector de bebidas para difundir ventajas del Ecovio	*	*	*

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior y siguiendo la metodología AHP, se muestra en la

Figura 42 de acuerdo con la jerarquía establecida para la toma de decisiones.

Figura 42. Jerarquía para estrategias en la transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia)



Fuente: Elaboración propia. Basado en metodología de (Hadad, 2015).

Los criterios se evaluaron de acuerdo a la escala presentada en la Tabla 19, el resultado se muestra en la Tabla 21 . Allí Se puede evidenciar que los criterios de sostenibilidad y aceptación del cliente final son los de mayor peso en la decisión de la estrategia.

Tabla 21. Evaluación de criterios de acuerdo con la metodología AHP. (Elaboración propia)

	Rentabilidad	Operación	Sostenibilidad	Aceptación cliente final	W	W%
Rentabilidad	1	3	0.14	0.14	0.09	9%
Operación	0.33	1	0.11	0.14	0.05	5%
Sostenibilidad	7	9	1	1	0.45	45%
Aceptación cliente final	7	7	1	1	0.42	42%
	15.33	20	2.25	2.29		100%

Fuente: Elaboración propia.

Después de evaluar todas las estrategias planteadas teniendo en cuenta cada criterio definido y siguiendo la metodología AHP, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 22 a la Tabla 25. El valor de w corresponde al peso de la estrategia de acuerdo con el criterio evaluado y el valor de $w*W$ corresponde al peso total dentro de todo el conjunto de estrategias y teniendo en cuenta el peso de cada criterio.

Tabla 22. Resultado de peso obtenido para todas las estrategias planteadas bajo el criterio de rentabilidad. (Elaboración propia)

Rentabilidad:

	w%	W*w
PC	14%	1.2%
RC	14%	1.2%
BD	4%	0.3%
BP	5%	0.4%
BC	7%	0.6%
IP	17%	1.4%
AR	10%	0.8%
MA	7%	0.6%
ME	8%	0.7%
PSP	8%	0.7%
AM	5%	0.5%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Resultado de peso obtenido para todas las estrategias planteadas bajo el criterio de operación. (Elaboración propia)

Operación:

	w%	W*w
PC	10%	0.5%
RC	10%	0.4%
BD	4%	0.2%
BP	2%	0.1%
BC	1%	0.1%
IP	7%	0.3%
AR	13%	0.6%
MA	11%	0.5%
ME	10%	0.5%
PSP	22%	1.0%
AM	9%	0.4%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Resultado de peso obtenido para todas las estrategias planteadas bajo el criterio de sostenibilidad. (Elaboración propia)

Sostenibilidad:

	w%	W*w
PC	13%	6.0%
RC	13%	5.6%
BD	4%	1.8%
BP	5%	2.2%
BC	6%	2.9%
IP	3%	1.5%
AR	3%	1.2%
MA	11%	5.0%
ME	18%	7.8%
PSP	22%	9.9%
AM	2%	0.7%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Resultado de peso obtenido para todas las estrategias planteadas bajo el criterio de aceptación del cliente final. (Elaboración propia)

Aceptación cliente final:

	w%	W*w
PC	18%	7.5%
RC	24%	10.3%
BD	7%	2.8%
BP	5%	1.9%
BC	2%	0.9%
IP	8%	3.3%
AR	5%	2.0%
MA	12%	5.0%
ME	13%	5.3%
PSP	1%	0.6%
AM	6%	2.4%

Fuente: Elaboración propia.

Los pesos de cada estrategia fueron sumados para poder escoger las estrategias de mayor peso y así generar una propuesta de valor sobre la cual basar el modelo de negocio propuesto. Las estrategias definidas entonces serán el montaje de una planta de compostaje y la recolección cerrada de residuos de Ecovio®, la presentación de una botella de Ecovio® con diseños exclusivos en su superficie, la difusión del impacto ambiental de los plásticos en el planeta, la creación de una marca de envase de agua con bajo impacto ambiental y la presentación a entidades públicas sobre las ventajas del Ecovio® para obtener apoyo regulatorio.

Tabla 26. Score total de cada estrategia evaluada y estrategias elegidas para la propuesta de valor del modelo de negocio de la transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia)

Estrategia	Score Total
PC	15.3%
RC	17.6%
BD	5.2%
BP	4.6%
BC	4.5%
IP	6.6%
AR	4.7%
MA	11.0%
ME	14.3%
PSP	12.2%
AM	4.0%

Fuente: Elaboración propia.

Los cálculos realizados para llegar a las respuestas de la Tabla 26 se muestran en el Anexo 3.

7.3.3 MODELO DE NEGOCIO: CANVAS

**Figura 43. Modelo de negocio CANVAS para la transformación del envase de agua en Colombia.
(Elaboración propia)**

<p>Asociaciones clave</p> <ul style="list-style-type: none"> - Empresas de manufactura de botellas plásticas. - Empresas embotelladoras de agua. - ONG y marcas importantes para difundir impacto de plásticos. - Entidades públicas para apoyo regulatorio. - Centros de acopio de residuos y recicladores. 	<p>Actividades clave</p> <ul style="list-style-type: none"> - Marketing y ventas: Información impactos de plásticos y ventajas de bioplásticos. - Cierre del ciclo mediante compostaje de envases. - Compostaje y venta de abono. <p>Recursos clave</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planta de compostaje - Personal capacitado en temas de sostenibilidad e impactos ambientales. - Alianzas para recolectar los residuos de Ecovio®. 	<p>Propuesta de valor</p> <p>Creación de una marca de envase para agua con bajo impacto ambiental hecho con Ecovio®. El envase tendrá diseños exclusivos en su superficie y se recolectará luego de ser utilizado, para ser llevado a una planta de compostaje industrial donde se biodegradará completamente en 26 semanas, convirtiéndose en abono de buena calidad para la agricultura.</p>	<p>Relación con clientes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Foco en el cliente. - Entrega de soluciones de bajo impacto ambiental. - Apoyo para cerrar el ciclo y disminuir su impacto ambiental sin dejar de consumir agua embotellada. <p>Canales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consumo masivo (off-trade volume). - Restaurantes, instituciones públicas y privadas (on-trade volume). 	<p>Clientes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Empresas embotelladoras de agua. - Restaurantes e instituciones públicas y privadas que consuman agua en botella (on-trade volume).
<p>Estructura de costos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inversión inicial. - Costos de operación y mantenimiento. - Costos de investigación y desarrollo. - Costos de comercialización y marketing. 		<p>Fuentes de ingreso</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ingresos por venta de botellas de Ecovio®. - Ingresos por venta de abono para agricultura y paisajismo. - Ingresos por venta de solución integral de agua en botella de bajo impacto ambiental. 		

Fuente: Elaboración propia.

Clientes

Los clientes a los que se dirigirá la oferta de un envase para agua con bajo impacto ambiental se dividirán en dos segmentos: empresas embotelladoras de agua y segmento on-trade (restaurantes, colegios, universidades y toda clase de instituciones públicas y privadas que consuman agua en botella).

Empresas embotelladoras de agua: Actualmente el mercado de agua en botella en Colombia es liderado por dos grandes empresas, Postobón y Coca-Cola Femsa. Entre los dos, tienen una participación del 90 %, seguidos por las marcas propias (5 %) y otras marcas pequeñas. Es importante establecer alianzas con los líderes del mercado para promocionar el nuevo envase, se puede empezar con una edición limitada de una de sus marcas líderes (Cristal y Manantial respectivamente). Esto sin dejar de lado las marcas propias, el 5 % del mercado en este caso corresponde aproximadamente a 82 billones de pesos (Euromonitor International, 2017b), lo cual es un mercado importante a ser atendido.

Segmento on-trade: El segmento on-trade de agua en botella corresponde a todos aquellos establecimientos donde el agua se consume directamente en el recinto donde se compra. Aquí

entran los restaurantes, hoteles, colegios, empresas e instituciones de carácter estatal que compran las botellas de agua para su consumo en el día a día. En este segmento, se espera ofrecer una solución integral, donde se venda el envase de Ecovio® con todas sus ventajas ambientales y en los casos en los que se requiera entregar la solución de agua marca propia, se entraría a negociar directamente con el actual proveedor del agua para cada caso, haciendo una alianza para proveer el envase y en caso que el cliente lo requiera dar apoyo en temas de sostenibilidad y difusión de las ventajas ambientales del nuevo envase que se está utilizando en su producto. El mercado on-trade de agua en botella en Colombia tiene un valor de 791 billones de pesos (Euromonitor International, 2017b).

Propuesta de valor

“No debemos mirar a la competencia y pensar que podemos hacerlo mejor, debemos mirar a la competencia y pensar que podemos hacerlo diferente” Steve Jobs

La propuesta de valor se basa en las estrategias anteriormente seleccionadas en el numeral 7.3.2 y que corresponden a ofrecer:

1. Una planta de compostaje industrial
2. Recolección cerrada de residuos de Ecovio®.
3. Botella de Ecovio® con diseños impresos en su superficie.
4. Difusión del impacto de los plásticos en el medio ambiente.
5. Nueva marca de envase con bajo impacto ambiental.
6. Presentación del Ecovio® como alternativa al reciclaje y al uso de plásticos para envasar el agua en Colombia con el objetivo de obtener apoyo regulatorio.

Las estrategias anteriormente mencionadas serán analizadas desde las perspectivas social, ambiental y económica con el fin de dar un soporte de sostenibilidad a cada una de ellas.

Tabla 27. Análisis de beneficios sociales, ambientales y económicos de las estrategias planteadas para la propuesta de valor. (Elaboración propia)

Análisis de beneficios de las estrategias			
Estrategias	Factores sociales	Factores ambientales	Factores económicos
Planta de compostaje	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inclusión de la comunidad en temas alternativos al reciclaje. ▪ Bienestar a la comunidad. ▪ Apoyo a agricultores colombianos con abono de alta calidad a partir de residuos orgánicos y Ecovio®. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Degradación total de residuos de Ecovio®. ▪ Cierre del ciclo de vida de botellas de agua con disminución de impactos ambientales. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Obtención de abono como producto final para ser vendido y utilizado en paisajismo y agricultura.
Recolección cerrada de residuos de Ecovio®	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Incentivar a la comunidad a separar sus residuos. ▪ Inclusión de la comunidad de recicladores en recolección de residuos de Ecovio®. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cierre del ciclo de vida de botellas de agua con disminución de impactos ambientales. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Servicio integral de cierre de ciclo y recolección de residuos.
Botella de Ecovio® con diseños exclusivos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inclusión de diseños de artistas locales para apoyar el talento colombiano. ▪ Información de importancia de utilizar resinas alternativas de bajo impacto ambiental como envase. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Botella totalmente compostable y biodegradable en 26 semanas. ▪ Tintas compostables. ▪ Reducción del uso de plásticos para envases. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El Ecovio® no requiere tratamiento de corona para realizar la impresión, esto se traduce en ahorro de tiempo y costos de producción.
Difusión de impactos ambientales de los plásticos en el planeta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informar a la comunidad sobre el impacto negativo de los plásticos en el medio ambiente. ▪ Contribuir a la concientización de la comunidad para que elija opciones de bajo impacto ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reducción del uso de plásticos para envases. ▪ Contribución a una menor acumulación de residuos plásticos en vertederos y fuentes hídricas. 	-
Crear una nueva marca de envase para agua de bajo impacto ambiental	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contribuir a la concientización de la comunidad para que elija opciones de bajo impacto ambiental. ▪ Inclusión de líderes del mercado en iniciativas de utilización de resinas compostables. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reducción del uso de plásticos para envases. ▪ Contribución a una menor acumulación de residuos plásticos en vertederos y fuentes hídricas. ▪ Transformación integral del envase de agua para beneficiar el medio ambiente y contribuir a la sostenibilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aportar componente de sostenibilidad a las empresas para su deducción de impuestos por acciones de este tipo.
Presentación de alternativas a los plásticos a entidades públicas para conseguir apoyo regulatorio	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inclusión de actores públicos en la problemática ambiental de uso de plásticos como envase. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Regulaciones sobre el uso de plásticos como envase permiten reducir la acumulación de residuos de este tipo en el medio ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reducción de impuestos. ▪ Aumento de demanda por envases de bajo impacto ambiental y por lo tanto de ingresos.

Fuente: Elaboración propia.

Canales

Para atender el mercado se utilizarán dos canales principales: el off-trade y el on-trade. El canal off-trade corresponde a grandes superficies y centros de distribución, donde el producto se compra para ser llevado y consumido en otro lugar, por ejemplo, un supermercado. El canal on-trade corresponde a establecimientos donde el producto se consume directamente, por ejemplo, restaurantes, colegios, empresas.

Off-trade: Este canal se trabajará directamente desde dos ángulos. Primero, a través de las empresas de marcas fuertes en el mercado como Postobón y Coca-Cola, haciendo alianzas con ellos y sacando al mercado alguna línea de bajo impacto ambiental en conjunto. Y segundo, a través de marcas propias de grandes superficies.

On-trade: Este canal se trabajará directamente con las instituciones o establecimientos que consumen agua en botella personalizada. Es decir que acuden a embotelladoras externas de agua para abastecer sus establecimientos con agua envasada en botellas personalizadas para su institución o establecimiento específico. Esto lo hacen las empresas e instituciones a manera de marketing interno y externo para llevar su nombre en artículos y consumibles como el agua. Allí se trabajará de la mano en una solución integral con dichas empresas y establecimientos y sus proveedores de agua en botella personalizada para ofrecer una solución dirigida a reforzar o inculcar el compromiso de dichas empresas con el medio ambiente a través de utilizar envases para su agua en materiales compostables y biodegradables de bajo impacto ambiental. Este canal es el que nos permitirá más fácilmente realizar la recolección cerrada de residuos de Ecovio® para llevar a la planta de compostaje y ofrecer la solución completa hasta el fin del ciclo de la botella.

Relación con clientes

La relación con los clientes se fundamenta en dos pilares fundamentales: el foco en el cliente y la entrega de soluciones de bajo impacto ambiental. Se ha estructurado toda una estrategia donde la aceptación del cliente tiene uno de los principales puntajes en los criterios de selección como se pudo ver en la sección 7.3.2, donde dicho criterio tiene un peso del 42 %. Esto representa uno de los pilares fundamentales del modelo de negocio, el foco en el cliente. Por otra parte dicha estrategia tiene otro criterio de alto peso (45 %), la sostenibilidad, entendida como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Brundtland, 1987). De acuerdo con lo anterior,

la estrategia y el relacionamiento con los clientes serán fundamentalmente basados en ser un apoyo para cerrar el ciclo y disminuir el impacto ambiental de las empresas y marcas de los clientes sin que estos deban dejar de consumir agua embotellada. Existirá un departamento de ventas y marketing que estará enfocado en escuchar, interpretar y atender los requerimientos de los clientes siguiendo los dos pilares explicados anteriormente.

Fuentes de ingreso

Los ingresos estarán divididos en tres grandes ramas:

- ***Ingresos por venta de botellas de Ecovio®***: Al crear una nueva marca de envase de agua con bajo impacto ambiental, se ofrecerá como producto una botella hecha de Ecovio® a los clientes. La venta de dicho envase será la primera rama de ingresos para la compañía. Este producto estará dirigido principalmente a los proyectos con las marcas líderes del mercado que empiecen a utilizar en lanzamientos especiales este tipo de botella. Igualmente irá para las marcas propias de grandes superficies.
- ***Ingresos por venta de solución integral de agua en botella de bajo impacto ambiental***: Este portafolio será dirigido principalmente al segmento on-trade de establecimientos e instituciones públicas y privadas que actualmente consuman agua en botella personalizada. Aquí se harán alianzas con las empresas embotelladoras de dichas marcas para ofrecer la solución final al cliente de un agua embotellada de bajo impacto ambiental y que pueda servir de marketing interno y externo de las acciones de las empresas por buscar soluciones sostenibles.
- ***Ingresos por venta de abono para agricultura y paisajismo***: Como producto del proceso completo de compostaje, se obtiene abono que puede ser utilizado para las plantaciones de diferentes productos agrícolas en el país. Este será comercializado y aunque no será la fuente principal de ingresos, aportará a los ingresos totales de la compañía.

Recursos clave

Los recursos más importantes de este modelo de negocio se centran en la parte final de la cadena de valor y en el equipo de ventas y marketing que va directo al cliente. La parte final de la cadena de valor es la disposición de los residuos. Es importante tener en cuenta que el cierre del ciclo es el valor más alto de todo el negocio, ya que es el punto en el que los residuos pasan a degradarse totalmente y generar abono que a su vez ayudará a generar vida al ser utilizado en plantaciones. Es por esta razón que los recursos clave son la planta de compostaje y las alianzas

hechas con empresas o establecimientos y con asociaciones de recicladores para recolectar los residuos de Ecovio®.

Por otra parte, al ser tan importante en la estrategia la sostenibilidad, es clave contar con personal capacitado en temas de sostenibilidad y de impactos ambientales de los plásticos y las respectivas ventajas de la utilización de resinas compostables y biodegradables como el Ecovio® en envases. Este conocimiento aplica para el equipo completo y debe ser aún más especializado en el equipo de marketing y ventas para transmitir esto a los clientes y así poder lograr una transformación.

Actividades clave

En línea con los recursos claves, deben ir las actividades clave de este modelo de negocio. Así, las actividades ligadas a la disposición de los residuos y cierre del ciclo son clave en este modelo, al igual que las actividades de marketing y ventas.

Se debe hacer un trabajo importante en la difusión de la información de impactos ambientales de los plásticos y a su vez de las alternativas de menor impacto ambiental como los bioplásticos. Dicha difusión es una actividad importante que debe ser realizada principalmente por el equipo de marketing y ventas, pero también debe buscar apalancamiento en otras organizaciones alineadas en este sentido como ONG, por ejemplo.

Muchos problemas ecológicos no son tangibles para la población en general, este es el caso del hueco en la capa de ozono o incluso de la acumulación de residuos plásticos en las fuentes hídricas. Solo podemos experimentar los efectos tangibles de la contaminación, como el olor de una fuente de agua altamente contaminada, situación que lleva un largo tiempo en suceder. Es por esto que la información de impactos ambientales como los causados por los residuos plásticos, deben transmitirse haciendo un link con las emociones y generando un enganche emocional (Kollmuss & Agyeman, 2002).

Por otra parte, para cerrar el ciclo, se deben llevar a cabo otras actividades claves como el compostaje de los residuos de Ecovio® y la venta del abono generado. Aquí se centra el corazón del proyecto, ya que son estas actividades las que permiten que los residuos dejen de existir en el planeta como residuos y puedan ser utilizados como materias primas para apoyar el crecimiento de plantas bien sea para paisajismo o para agricultura y producción de alimentos.

Asociaciones clave

En línea con los recursos y actividades clave, se deben definir asociaciones clave que permitan llevar a cabo plenamente las actividades clave. Siendo así, es importante establecer alianzas con diferentes actores de la industria y de la sociedad para así fortalecer y apalancar los esfuerzos de disminuir los residuos plásticos en Colombia. Las alianzas fundamentales serán con:

- ***Empresas de manufactura de botellas plásticas:*** Esta asociación es importante ya que será el comienzo de la transformación. Estas empresas poseen los equipos necesarios para fabricar las botellas de Ecovio®, el producto principal de la compañía. Establecer alianzas con estas empresas permitirá que la compañía pueda vender las botellas a las grandes marcas de agua, marcas propias, empresas, establecimientos e instituciones públicas y privadas para consumir allí el agua.
- ***Empresas embotelladoras de agua:*** La alianza con este tipo de empresas es importante para ofrecer la solución integral de botellas de agua con bajo impacto ambiental, principalmente al segmento on-trade.
- ***ONG y marcas importantes:*** Estas alianzas son claves para difundir el impacto de los plásticos en el medio ambiente, sus efectos a corto, mediano y largo plazo, y cómo el reciclaje no es la solución para el largo plazo y se debe cambiar radicalmente la forma de hacer las cosas y los materiales de envase de productos de consumo masivo como el agua. Este será el apoyo más importante del departamento de marketing para difundir la necesidad de la transformación. Y de allí el equipo de ventas soportará los argumentos de venta para generar ingresos.
- ***Entidades públicas:*** Esta asociación es importante principalmente para buscar apoyo regulatorio. La transformación debe ser integral y duradera en el tiempo. Para esto además de enganchar al consumidor final, se debe también buscar influencia de las regulaciones. Así como se definió la resolución de uso de bolsas plásticas, donde se busca disminuir el 60 % del consumo de bolsas plásticas en Colombia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016), así mismo se puede regular el uso de plásticos como el PET para envasar agua en botella. Esto generaría una necesidad de reemplazo por materiales más amigables con el medio ambiente como el Ecovio®.
- ***Centros de acopio de residuos y recicladores:*** Para poder cerrar el ciclo, y realizar el compostaje adecuado de los residuos de Ecovio® es clave poder recolectar exitosamente

los residuos. Para esto la alianza con centros de acopio de reciclaje y asociaciones de recicladores es importante. Incluso esta alianza puede ser hecha con las mismas empresas y establecimientos que consumen el agua embotellada, ya que, en estos lugares, solo se debería poner un recipiente para depositar allí las botellas de Ecovio® utilizadas y así transportarlas a la planta de compostaje.

Estructura de costos

- Inversión inicial (montaje de la planta de compostaje principalmente)
- Costos de operación y mantenimiento.
- Costos de investigación y desarrollo.
- Costos de comercialización y marketing.

Los costos explicados y con su respectivo valor se presentan en detalle en la sección 7.3.4.

7.3.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL MODELO

En esta sección se planteará una estructura de ingresos y costos para poder llevar a cabo un análisis financiero del negocio propuesto. Esta evaluación tendrá como piloto la ciudad de Bogotá D.C. como punto inicial para la transformación del envase de agua en Colombia por uno hecho con Ecovio®. El análisis fue realizado utilizando un simulador financiero para planes de negocio de la Universidad EAN (Giraldo, 2012).

Consideraciones generales

La Tabla 28 muestra las consideraciones generales sobre las cuales se basó el análisis económico del proyecto, desde variables macroeconómicas como definición de depreciaciones, costo de la deuda en inversión por parte de los accionistas del proyecto.

Tabla 28. Consideraciones generales utilizadas en la evaluación económica de la transformación del envase de agua en Bogotá D.C. (Elaboración propia basada en (Banco de la República, 2017), (Broseta, 2017), (ANLA, 2013), (Sanchez Ruiz, 2013))

Periodo de análisis	5 años
Inflación anual	5 % (valor promedio de los últimos 15 años)
Devaluación (real)	0.3% (valor promedio de los últimos 15 años)
IPP	4.1% (valor promedio de los últimos 15 años)
DTF	6.7% (valor promedio de los últimos 15 años)
ICA	11.4 (por mil)
Tasa de rendimiento esperada	18% **
Capital de trabajo	\$ 468,212,579
Impuestos renta	16% *
Póliza todo riesgo	3% del valor de los equipos
Factor prestacional	58%
Período de depreciación de edificaciones y construcciones	20 años (línea recta)
Período de depreciación de maquinaria/equipos	10 años (línea recta)
Período de depreciación muebles y enseres	5 años (línea recta)
Período de depreciación equipos de transporte	5 años (línea recta)
Período de depreciación equipos de oficina	3 años (línea recta)
Licencia ambiental	No necesaria por no manejar residuos peligrosos
Reserva legal	No es obligatoria para las SAS
Cuentas por pagar	90 días
Rotación de cartera	30 días
Días de compra de inventario	3 días (compras locales)
Financiamiento:	45%
<i>Maquinaria, equipos de cómputo, inmuebles</i>	\$ 619,435,630
<i>Costo de la deuda</i>	16.9% EA (valor promedio tasas Superfinanciera 2017 para crédito comercial ordinario)
<i>Periodo</i>	10 años
Inversión de accionistas	55%
<i>Capital de trabajo, y parte del terreno :</i>	\$ 757,087,993

*33% menos 17% por ser un proyecto para mitigar impactos ambientales.

**Tasa CDT promedio a 360 días más inflación promedio más tasa de riesgo.

Fuente: Elaboración propia basada en (Banco de la República, 2017), (Broseta, 2017), (ANLA, 2013), (Sanchez Ruiz, 2013)

Para analizar el modelo de negocio propuesto, se presentará la estructura de costos de todo el proyecto. Los costos generales de implementación de las estrategias propuestas, los costos de investigación y desarrollo y los costos de comercialización y marketing. Finalmente se presentará el escenario de ingresos estudiado y su correspondiente flujo de caja.

Costos generales por implementación de las estrategias

Tabla 29. Costos generales por implementación de las estrategias y costos de optimización de rutas.
(Elaboración propia basada en (Ministerio de Transporte, 2010), (ANLA, 2013), (Sanchez Ruiz, 2013))

Costos generales de implementación de estrategias:			
<i>Costos de personal</i>	Cantidad	Salario	Dedicación
Ingeniero de planta	1	\$ 5,000,000	Lunes-Viernes 7:30 a.m. -5:30 p.m.
Ayudantes (mínimo con subsidio de transporte)	2	\$ 820,857	24h
	Sub total:	\$ 1,641,714	
Operarios	2	\$ 2,000,000	Lunes-Viernes 7:30 a.m. -5:30 p.m.
	Sub total:	\$ 4,000,000	
Celador (mínimo con subsidio de transporte)	2	\$ 820,857	24h
	Sub total:	\$ 1,641,714	
<i>Costos directos</i>	Cantidad	Valor	
Montacargas	1	\$ 50,000,000	
Trituradora	1	\$ 25,000,000	
Máquina aireadora	1	\$ 51,000,000	
Computadores	2	\$ 3,000,000	
	Sub total:	\$ 6,000,000	
Predio (m2)	5000	\$ 150,000	
	Sub total:	\$ 750,000,000	
Bodega - Centro de acopio	1	\$ 21,000,000	
<i>Costos de operación</i>	Costo mensual		
Mantenimiento de equipos	\$ 227,040		
Servicios públicos	\$ 1,000,000		

Costos de optimización de rutas:			
<i>Costos de personal</i>	Cantidad	Salario	Dedicación
Conductor	1	\$ 1,000,000	Lunes-Viernes 7:30 a.m. -5:30 p.m.
Ayudante (mínimo con subsidio de transporte)	1	\$ 820,857	Lunes-Viernes 7:30 a.m. -5:30 p.m.
<i>Costos directos</i>	Cantidad	Valor	
Camión dos ejes	1	\$ 60,000,000	
<i>Costos de operación*</i>	Costo mensual		
Costos variables terreno plano (Bogotá)	\$ 127,040		
Costos mantenimiento, seguros e impuestos rodamiento	\$ 3,200,000		

*Costos promedio tomados de Ministerio de transporte para un camión de dos ejes.

Fuente: Elaboración propia basada en (Ministerio de Transporte, 2010), (ANLA, 2013), (Sanchez Ruiz, 2013)

Es importante tener en cuenta que en este planteamiento de costos se está invirtiendo en comprar el predio donde quedará ubicada la planta de compostaje y bodega. Los empleados que se manejarán serán contratados por prestación de servicio, a excepción del personal administrativo y el personal de marketing y ventas.

Además, parte fundamental de las estrategias consiste en lograr el cierre del ciclo de vida de las botellas de Ecovio®, en esta tarea es de vital importancia la recolección de los residuos de Ecovio® generados para ser llevados a la planta de compostaje. Por esta razón se plantea la adquisición de un camión propio que pueda hacer una ruta diaria por Bogotá recogiendo de los establecimientos atendidos, las botellas utilizadas.

En un principio, las botellas de Ecovio® serán maquiladas por una empresa con conocimientos técnicos y equipos propios para la elaboración de botellas. Debido a que los

equipos son los mismos utilizados para la elaboración de botellas de otras resinas tradicionales como el PET, esta es la salida más viable. Por otra parte, el valor agregado de este negocio como se ha mostrado a lo largo de este trabajo radica en el cierre del ciclo, en la recolección y compostaje de los residuos para que sean totalmente biodegradados y no se acumulen en nuestro sistema.

Costos de investigación y desarrollo

La investigación en proyectos de ingeniería es de vital importancia, pues esta permite que se optimicen los procesos y así el rendimiento de la empresa sea mejor. Por otra parte, es importante tener siempre un laboratorio tanto de control de calidad del compost producido, como de desarrollo de procesos, metodologías y métodos de manejar la planta de compostaje y de poder cerrar de la mejor manera el ciclo de las botellas de Ecovio® vendidas. Es en este campo en el cual se debe tener un departamento de investigación y desarrollo y un laboratorio sencillo con equipos básicos que soporten este trabajo.

Tabla 30. Costos de investigación y desarrollo. (Elaboración propia)

Costos de investigación y desarrollo:			
Costos de personal	Cantidad	Salario	Dedicación
Ingeniero químico	1	\$ 6,000,000	Lunes-Viernes 7:30 a.m. -5:30 p.m.
Auxiliar de laboratorio	1	\$ 2,000,000	Lunes-Viernes 7:30 a.m. -5:30 p.m.
Costos directos	Cantidad	Valor	
Laboratorio	1	\$ 10,000,000	
Costos de operación	Costo mensual		
Mantenimiento de equipos	\$ 100,000		
Capacitación	\$ 1,000,000		

Fuente: Elaboración propia.

Costos de comercialización y marketing

Tabla 31. Costos de comercialización y marketing. (Elaboración propia)

Costos comercialización y marketing:			
Costos de personal	Cantidad	Salario integral	Dedicación
Gerente	1	\$ 15,800,000	Lunes-Viernes 7:30 a.m. -5:30 p.m.
Director Administrativo	1	\$ 12,640,000	Lunes-Viernes 7:30 a.m. -5:30 p.m.
Director Comercial y Marketing	1	\$ 13,430,000	Lunes-Viernes 7:30 a.m. -5:30 p.m.
Contador-Tesorero	1	\$ 3,160,000	Lunes-Viernes 7:30 a.m. -5:30 p.m.
Vendedores	3	\$ 6,320,000	Lunes-Viernes 7:30 a.m. -5:30 p.m.
	Sub total:	\$ 18,960,000	
Costos directos	Cantidad	Valor	
Mobiliario (sala de juntas, el resto home office)	-	\$ 5,000,000	
Impresora	1	\$ 1,500,000	
Computadores	7	\$ 3,000,000	
	Sub total:	\$ 21,000,000	
Costos de operación	Costo mensual		
Gastos generales (papelería etc.)	\$ 100,000		
Seguros	\$ 340,000		

Fuente: Elaboración propia.

Ingresos

Para definir los ingresos del proyecto, se tuvieron en cuenta ciertos supuestos de ventas anuales por cada línea de producto (botellas de Ecovio® y compost o abono). Dichos supuestos se basan en una participación de mercado del 1 % del total de mercado de agua embotellada en Colombia.

Las bases de cálculo utilizadas se muestran en la Tabla 32.

Tabla 32. Bases de cálculo utilizadas para definir los ingresos del proyecto. (Elaboración propia basada en (Euromonitor International, 2017b), (Pérez, 2005))

Precio promedio (COP/botella)	\$	2,853
Tamaño de mercado en 2016 (bn COP)	\$	2,337
Peso promedio botella Ecovio® (kg)		0.012175
Ecovio® en tierra		20%
Una mol de Ecovio® genera una mol de Compost	$C_{16}H_6O_{38}N_{3,4}S_{0,3} (s) + 29 O_2 (g) \longrightarrow 46 CO_2 (g) + 3 H_2O + Compost (s)$	

Fuente: Elaboración propia basada en (Euromonitor International, 2017b), (Pérez, 2005).

Tabla 33. Ingresos del proyecto basados en supuestos de ventas anuales. (Elaboración propia)

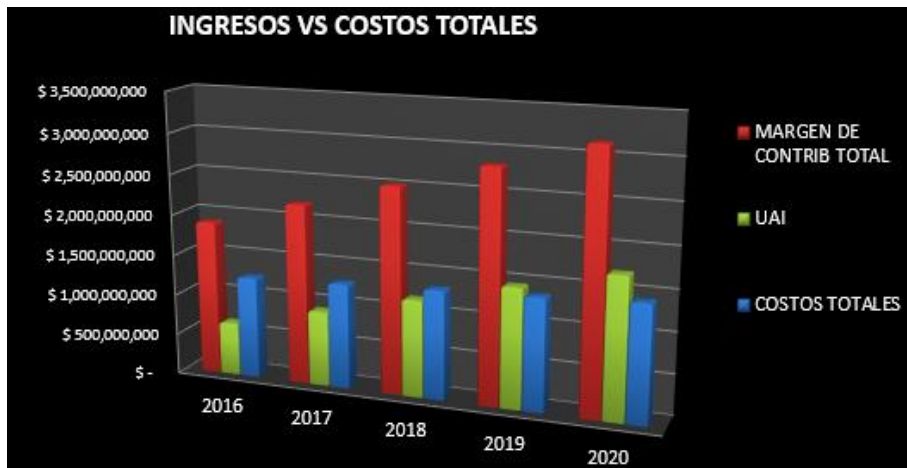
Supuestos del departamento de Marketing - Ventas anuales				
	Participación de mercado	1%		
x	Tamaño del mercado por año (unidades)	819,223,241.392		
=	Número de botellas de Ecovio® vendidas	8,192,232.41		
			Semestral	
	Número de botellas de Ecovio® vendidas	8,192,232.4	4,096,116.2	
x	Precio por botella	\$ 910.7	\$ 765.3	Sin Iva
=	Ingresos por ventas de botellas anuales	\$ 7,460,547,927		
	Ecovio® en tierra	20%		
x	Tamaño del compostaje por año (kg)	498,702		
=	kg de abono vendidos	99,740		
			Semestral	
	kg de abono vendidos	99,740.4	49,870.2	
x	Precio por kg de abono	\$ 3,509	\$ 2,842	Sin Iva
=	Ingresos por ventas de abono anuales	\$ 349,989,168		
Ingresos totales anuales		\$	7,810,537,095	

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo 4 se muestra el benchmarking de abono orgánico y botellas de agua utilizado como referencial para fijar los precios de los productos.

Si se revisan los ingresos y los costos totales, se puede observar que el margen de contribución total cubre los costos y gastos del proyecto. Esto es de suma importancia a la hora de evaluar un plan de negocio. Por otra parte, la utilidad antes de impuestos UAI es siempre positiva y de hecho empieza a ser mayor que los costos y gastos después del tercer período, lo cual hace que el plan de negocio sea viable. Lo anterior se representa en la Figura 44.

Figura 44. Ingresos versus costos totales del proyecto. (Elaboración propia con Simulador de Negocios)



Fuente: Elaboración propia con Simulador de Negocios.

Balance general, P&G y Flujo de caja libre del proyecto

Tabla 34. Balance general para el piloto de transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia con Simulador de Negocios)

BALANCE GENERAL	PERIODO					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ACTIVO CORRIENTE						
Efectivo	\$ -	\$ 825,415,588	\$ 961,027,813	\$ 1,314,637,667	\$ 1,597,978,468	\$ 1,327,598,854
Invent. Materia Prima	\$ 376,023,623	\$ 37,602,362	\$ 43,309,579	\$ 47,970,729	\$ 52,484,343	\$ 56,930,921
Cuentas por cobrar	\$ -	\$ 534,270,522	\$ 617,702,395	\$ 690,296,508	\$ 761,615,347	\$ 833,030,885
TOTAL ACTIVO CORRIENTE	\$ 376,023,623	\$ 1,397,288,472	\$ 1,622,039,787	\$ 2,052,904,904	\$ 2,412,078,157	\$ 2,217,560,660
Gastos Anticipados	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortización Acumulada	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Total Activo Corriente (NO REALIZABLE):	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
ACTIVO FIJO						
Terrenos	\$ 750,000,000	\$ 750,000,000	\$ 750,000,000	\$ 750,000,000	\$ 750,000,000	\$ 750,000,000
Construcciones y Edificios	\$ 21,000,000	\$ 21,000,000	\$ 21,000,000	\$ 21,000,000	\$ 21,000,000	\$ 21,000,000
Depreciación Acumulada Planta	\$ -	\$ -1,050,000	\$ -2,100,000	\$ -3,150,000	\$ -4,200,000	\$ -5,250,000
Construcciones y Edificios Neto	\$ 21,000,000	\$ 19,950,000	\$ 18,900,000	\$ 17,850,000	\$ 16,800,000	\$ 15,750,000
Maquinaria y Equipo de Operación	\$ 136,000,000	\$ 136,000,000	\$ 136,000,000	\$ 136,000,000	\$ 136,000,000	\$ 136,000,000
Depreciación Acumulada	\$ -	\$ -13,600,000	\$ -27,200,000	\$ -40,800,000	\$ -54,400,000	\$ -68,000,000
Maquinaria y Equipo de Operación Neto	\$ 136,000,000	\$ 122,400,000	\$ 108,800,000	\$ 95,200,000	\$ 81,600,000	\$ 68,000,000
Muebles y Enseres	\$ 5,000,000	\$ 5,000,000	\$ 5,000,000	\$ 5,000,000	\$ 5,000,000	\$ 5,000,000
Depreciación Acumulada	\$ -	\$ -1,000,000	\$ -2,000,000	\$ -3,000,000	\$ -4,000,000	\$ -5,000,000
Muebles y Enseres Neto	\$ 5,000,000	\$ 4,000,000	\$ 3,000,000	\$ 2,000,000	\$ 1,000,000	\$ -
Equipo de Transporte	\$ 60,000,000	\$ 60,000,000	\$ 60,000,000	\$ 60,000,000	\$ 60,000,000	\$ 60,000,000
Depreciación Acumulada	\$ -	\$ -12,000,000	\$ -24,000,000	\$ -36,000,000	\$ -48,000,000	\$ -60,000,000
Equipo de Transporte Neto	\$ 60,000,000	\$ 48,000,000	\$ 36,000,000	\$ 24,000,000	\$ 12,000,000	\$ -
Equipo de Oficina	\$ 28,500,000	\$ 28,500,000	\$ 28,500,000	\$ 28,500,000	\$ 62,000,000	\$ 62,000,000
Depreciación Acumulada	\$ -	\$ -9,500,000	\$ -19,000,000	\$ -28,500,000	\$ -	\$ -11,166,667
Equipo de Oficina Neto	\$ 28,500,000	\$ 19,000,000	\$ 9,500,000	\$ -	\$ 62,000,000	\$ 50,833,333
Semovientes pie de cría	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Agotamiento Acumulada	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Semovientes pie de cría	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Cultivos Permanentes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Agotamiento Acumulada	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Cultivos Permanentes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Total Activos Fijos:	\$ 1,000,500,000	\$ 963,350,000	\$ 926,200,000	\$ 889,050,000	\$ 923,400,000	\$ 884,583,333
ACTIVOS DIFERIDOS						
ACTIVOS DIFERIDOS	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
AMORTIZACIÓN DE DIFERIDOS	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
ACTIVOS DIFERIDOS	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
ACTIVO	\$ 1,376,523,623	\$ 2,360,638,472	\$ 2,548,239,787	\$ 2,941,954,904	\$ 3,335,478,157	\$ 3,102,143,993
PASIVO						
Cuentas X Pagar Proveedores	\$ -	\$ 1,128,070,868	\$ 1,299,287,365	\$ 1,439,121,869	\$ 1,574,530,285	\$ 1,707,927,639
Impuestos X Pagar	\$ -	\$ -	\$ 12,533,949	\$ 39,418,123	\$ 68,046,169	\$ 94,357,725
TOTAL PASIVO CORRIENTE	\$ -	\$ 1,128,070,868	\$ 1,311,821,314	\$ 1,478,539,992	\$ 1,642,576,453	\$ 1,802,285,364
Obligaciones Financieras	\$ 619,523,623	\$ 557,571,260	\$ 495,618,898	\$ 433,666,536	\$ 371,714,174	\$ -309,761,811
PASIVO	\$ 619,523,623	\$ 1,685,642,129	\$ 1,807,440,212	\$ 1,912,206,528	\$ 2,014,290,627	\$ 1,492,523,553
PATRIMONIO						
Capital Social	\$ 757,000,000	\$ 757,000,000	\$ 757,000,000	\$ 757,000,000	\$ 757,000,000	\$ 757,000,000
Reserva Legal Acumulada	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidades Retenidas	\$ -	\$ -	\$ -82,003,657	\$ 65,803,231	\$ 206,945,145	\$ 357,242,385
Utilidades del Ejercicio	\$ -	\$ -82,003,657	\$ 65,803,231	\$ 206,945,145	\$ 357,242,385	\$ 495,378,055
Revalorización patrimonio	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL PATRIMONIO	\$ 757,000,000	\$ 674,996,343	\$ 740,799,575	\$ 1,029,748,377	\$ 1,321,187,531	\$ 1,609,620,441
TOTAL PAS + PAT	\$ 1,376,523,623	\$ 2,360,638,472	\$ 2,548,239,787	\$ 2,941,954,904	\$ 3,335,478,157	\$ 3,102,143,993

Fuente: Elaboración propia con Simulador de Negocios.

Tabla 35. P&G para el piloto de transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia con Simulador de Negocios)

ESTADO DE RESULTADOS	2016	2017	2018	2019	2020
Ventas	6,411,246,258	7,412,428,744	8,283,558,099	9,139,384,160	9,996,370,625
Devoluciones y rebajas en ventas	0	0	0	0	0
Materia Prima, Mano de Obra	4,512,283,472	5,197,149,462	5,756,487,475	6,298,121,138	6,831,710,557
Depreciación	37,150,000	37,150,000	37,150,000	27,650,000	38,816,667
Agotamiento	0	0	0	0	0
Otros Costos	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta	1,861,812,786	2,178,129,282	2,489,920,624	2,813,613,021	3,125,843,401
Gasto de Ventas	227,520,000	238,896,000	250,840,800	263,382,840	276,551,982
Gastos de Administracion	613,488,960	644,163,408	676,371,578	710,190,157	745,699,665
Gastos de Proucción	205,251,420	215,513,991	226,289,691	237,604,175	249,484,384
Industria y comercio	730,882,073	845,016,877	944,325,623	1,041,889,794	1,139,586,251
Provisiones	0	0	0	0	0
Utilidad Operativa	84,670,332	234,539,006	392,092,932	560,546,055	714,521,118
Intereses	-104,721,627	-94,249,464	-83,777,301	-73,305,139	-62,832,976
Servicio de la deuda	-61,952,362	-61,952,362	-61,952,362	-61,952,362	-61,952,362
Otros ingresos y egresos	-166,673,989	-156,201,826	-145,729,664	-135,257,501	-124,785,338
Utilidad antes de impuestos	-82,003,657	78,337,180	246,363,268	425,288,554	589,735,780
Impuesto de renta	0	12,533,949	39,418,123	68,046,169	94,357,725
Reserva legal	0	0	0	0	0
Reserva voluntaria	0	0	0	0	0
Utilidad Distribuible	\$ -82,003,657	\$ 65,803,231	\$ 206,945,145	\$ 357,242,385	\$ 495,378,055

Fuente: Elaboración propia con Simulador de Negocios.

Tabla 36. Flujo de caja para el piloto de transformación del envase de agua en Colombia. (Elaboración propia con Simulador de Negocios)

FLUJO DE CAJA	2016	2017	2018	2019	2020
Flujo de Caja Operativo					
Utilidad Operacional	84,670,332	234,539,006	392,092,932	560,546,055	714,521,118
Depreciaciones	37,150,000	37,150,000	37,150,000	27,650,000	38,816,667
Amortización y agotamiento	0	0	0	0	0
Provisiones	0	0	0	0	0
Impuestos	0	0	-12,533,949	-39,418,123	-68,046,169
Neto Flujo de Caja Operativo	121,820,332	271,689,006	416,708,983	548,777,932	685,291,617
Flujo de Caja de Inversión					
Período	2016	2017	2018	2019	2020
Variación Inv. Materias Primas e insumos	338,421,260	-5,707,217	-4,661,150	-4,513,614	-4,446,578
Variación en Cuentas por Cobrar	-534,270,522	-83,431,874	-72,594,113	-71,318,838	-71,415,539
Variación en Cuentas por pagar a Proveedores	-1,128,070,868	-171,216,497	-139,834,503	-135,408,416	-133,397,355
Variación del capital de Trabajo	-1,323,920,129	-260,355,588	-217,089,766	-211,240,868	-209,259,472
Inversión en Terrenos	0	0	0	0	0
Inversión en Construcciones	0	0	0	0	0
Inversión en Maquinaria y Equipo	0	0	0	0	0
Inversión en Muebles	0	0	0	0	0
Inversión en Equipo de Transporte	0	0	0	0	0
Inversión en Equipos de Oficina	0	0	0	33,500,000	0
Inversión en Semovientes	0	0	0	0	0
Inversión Cultivos Permanentes	0	0	0	0	0
Inversión en Activos diferidos.	0	0	0	0	0
Inversión Activos	0	0	0	-33,500,000	0
Neto flujo de Caja de Inversión	-1,323,920,129	-260,355,588	-217,089,766	-244,740,868	-209,259,472
Flujo de Caja Financiamiento					
Período	2016	2017	2018	2019	2020
Desembolsos Pasivo Largo Plazo	0	0	0	0	0
Amortizaciones Pasivos Largo Plazo	-61,952,362	-61,952,362	-61,952,362	-61,952,362	-61,952,362
Intereses Pagados	-104,721,627	-94,249,464	-83,777,301	-73,305,139	-62,832,976
Dividendos Pagados	0	0	0	0	0
Capital adicional aportado por los socios	0	0	0	0	0
Neto Flujo de Caja Financiamiento	-166,673,989	-156,201,826	-145,729,664	-135,257,501	-124,785,338
Neto Periodo	-1,368,773,786	-144,868,408	53,889,553	168,779,563	351,246,807
Saldo anterior	0	825,415,588	961,027,813	1,314,637,667	1,597,978,468
Saldo Neto del período	\$ -1,368,773,786	\$ 680,547,181	\$ 1,014,917,366	\$ 1,483,417,230	\$ 1,949,225,274

Fuente: Elaboración propia con Simulador de Negocios.

El flujo de caja obtenido y mostrado en la Tabla 36, permite realizar análisis financieros sobre este proyecto. Lo indicadores escogidos para tal fin fueron el VPN (Valor Presente Neto),

TIR (Tasa Interna de Retorno) y WACC (Costo Promedio ponderado de Capital). De igual manera, los resultados de la Tabla 34 y Tabla 35 son insumos para dicho análisis.

VPN, TIR y WACC

Para evaluar el proyecto financieramente, se tendrán en cuenta los indicadores de Valor Presente Neto, Tasa Interna de Retorno y Costo Promedio Ponderado de Capital. De acuerdo con el flujo de caja neto obtenido para cada período, se puede calcular cada indicador. Los resultados se muestran en la Tabla 37 y Tabla 38.

Tabla 37. Flujo de caja neto para el período de evaluación del proyecto. (Elaboración propia con Simulador de Negocios)

PERIODO	AÑO 0	2016	2017	2018	2019	2020
FLUJO DE CAJA NETO	\$ -1,376,523,623	\$ -1,368,773,786	\$ 680,547,181	\$ 1,014,917,366	\$ 1,483,417,230	\$ 1,949,225,274

Fuente: Elaboración propia con Simulador de Negocios.

Tabla 38. Indicadores de evaluación del proyecto de transformación de agua en Colombia. (Elaboración propia)

VPN	\$ 187,121,460
TIR	20.6%
WACC	16.29%

Fuente: Elaboración propia.

El VPN después de cinco años es positivo, esto indica que el proyecto debe aceptarse, ya que después de realizarlo se dispondrá de un capital positivo con respecto a lo que se tiene hoy, considerando claro el valor del dinero en el tiempo.

La TIR es mayor que la tasa de descuento planteada por los inversionistas, la cual es del 18%. Esto refuerza el resultado del VPN, y sugiere que el proyecto debería aceptarse.

En cuanto al WACC, indica el costo que se debe pagar por los fondos invertidos en el proyecto. Así, se puede deducir que la rentabilidad mínima que se debe esperar es de 16.29%, lo cual es menor que la tasa de retorno, favoreciendo también el proyecto.

Finalmente, el Payback o período de recuperación de la inversión es de dos años, lo cual también hace de este proyecto, un negocio atractivo.

Análisis de sensibilidad frente a escenarios de ingresos

Para cerrar la evaluación económica del proyecto, se realizó un análisis de sensibilidad considerando las variables de participación de mercado, precio por botella, costo variable por botella, costo fijo anual y financiamiento. Estas variables se consideraron en tres escenarios, un

escenario base (el escenario ya discutido en esta sección), un escenario pesimista y un escenario optimista. El indicador que se analizó en cada caso fue el VPN, con la ayuda del Simulador de Negocios.

Tabla 39. Escenarios planteados para análisis de sensibilidad. (Elaboración propia)

Variable	Pesimista	Esperado	Optimista
Participación de mercado	0.5%	1%	2%
Precio (por botella)	\$ 650.5	\$ 765.3	\$ 880.1
Costo variable (por botella)	\$ 589.3	\$ 536	\$ 482.1
Costo fijo (por año)	\$ 1,326,000,000	\$ 1,250,000,000	\$ 1,101,000,000
Financiamiento	\$ 963,000,000	\$ 757,000,000	\$ 413,000,000

Fuente: Elaboración propia.

La variable de precio por botella se definió como un 15 % por encima del precio base en el escenario optimista y un 15 % por debajo del precio base en el escenario pesimista. De igual manera se definió el costo variable como un ajuste de precios por parte del proveedor de botellas de un 10 % por encima del precio base en el escenario pesimista y un 15 % por debajo del precio base en el escenario optimista.

Para los costos fijos se consideró un vendedor menos en el escenario optimista junto con un 10 % menos de salario en empleados con salarios mayores a dos millones de pesos al mes y en escenario pesimista se consideró el costo de un vendedor más. Para la variable financiamiento, se consideró un aporte de capital inicial de los socios del 30 % en el escenario pesimista y un aporte de capital inicial de los socios del 70 % en el escenario optimista.

Tabla 40. Análisis de sensibilidad para VPN. (Elaboración propia con Simulador de Negocios)

Variable	Pesimista	Esperado	Optimista
Participación de mercado	-\$ 22,444,586,326	\$ 187,121,460	\$ 41,558,027,481
Precio	-\$ 6,300,210,871	\$ 187,121,460	\$ 6,176,065,448
Costo variable (por botella)	-\$ 3,152,105,157	\$ 187,121,460	\$ 3,312,490,568
Costo fijo (por año)	-\$ 346,042,620	\$ 187,121,460	\$ 1,216,194,074
Financiamiento	-\$ 550,400,974	\$ 187,121,460	\$ 627,872,762

Fuente: Elaboración propia con Simulador de Negocios.

Como se puede observar en la Tabla 40, la sensibilidad del plan de negocio está básicamente sesgada por la participación de mercado. El punto de equilibrio de este negocio se obtiene con una participación de mercado del 0,65 %, y una venta de 5.258.000 botellas aproximadamente.

Las variables de precio y costo variable por botella también influyen, sin embargo, los porcentajes de variación considerados son altos.

En cuanto a las variables de costo fijo y financiamiento, la sensibilidad es menor y el valor negativo en el escenario pesimista se puede solventar si se arrienda el precio en vez de comprarlo al inicio del proyecto. De hecho, en ese caso el VPN del escenario base sería de \$1.900.000.000 de pesos aproximadamente.

Tabla 41. Análisis de sensibilidad del escenario pesimista considerando arriendo del precio en vez de compra. (Elaboración propia con Simulador de Negocios)

Variable	Pesimista
Participación de mercado	-\$ 20,689,389,339
Precio	-\$ 4,545,013,884
Costo variable (por botella)	-\$ 1,396,908,170
Costo fijo (por año)	\$ 1,376,433,300
Financiamiento	\$ 1,173,352,550

Fuente: Elaboración propia con Simulador de Negocios.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Luego de caracterizar comparativamente el envase de agua tradicional de plástico y el envase hecho de Ecovio® se puede concluir que los plásticos estudiados (PS, PP, PET) son materiales fáciles de procesar, de bajo peso y con múltiples aplicaciones y procesos posibles. Poseen de acuerdo con su naturaleza diversos comportamientos en cuanto a barreras al agua y al oxígeno, el PS posee barreras pobres, el PP, por su parte, posee una excelente barrera al agua, pero una pobre al oxígeno y el PET un muy buen comportamiento para las dos barreras. Por su parte, el Ecovio® presenta una pobre barrera al agua (similar a la del PS), pero una barrera al oxígeno adecuada que le permite ser utilizado en envases de agua. Sin embargo, la diferencia fundamental entre los plásticos y el Ecovio® radica en el tiempo de degradación del material. Mientras los plásticos en general registran tiempos estimados de degradación de 400-3000 años, el Ecovio® bajo condiciones de compostaje se degrada en un tiempo aproximado de 26 semanas y como producto de su degradación permite la generación de abono que puede ser utilizado en paisajismo y agricultura. Lo anterior hace que el impacto ambiental del Ecovio® sea bajo en comparación con el de los plásticos tradicionales. Una trascendental diferencia de fondo y la solución ideal al problema real trascendental y en crecimiento.
2. Luego de estructurar la transformación del envase de agua en Colombia por un envase hecho con Ecovio® a través de la dinámica de sistemas se puede concluir que el modelo propuesto en este trabajo muestra como en un horizonte de 500 años (tiempo estimado de degradación de una botella de PET) se puede obtener una reducción del 58 % de residuos plásticos generados por el consumo masivo de agua embotellada en Colombia si se implementa el uso de Ecovio® en sus envases y se cierra el ciclo de forma adecuada mediante el compostaje; el impacto ambiental es alto y los efectos del plástico se reducirían en la misma o mayor porcentaje. Esto de acuerdo con el crecimiento proyectado de consumo de agua en botella en el país y a la tasa de reciclaje de plásticos que se maneja de aproximadamente un 27 %. Si se toman las medidas adecuadas y no se cambia el material parcialmente como se muestra en este modelo, sino totalmente por acción de algún tipo de normatividad adicional, la acumulación de residuos plásticos sería incluso menor. Así, este modelo logra integrar variables cuantitativas del sistema con la conciencia ambiental, variable cualitativa que eleva el alcance del modelo y ayuda a simular el comportamiento de las personas, en este caso de Colombia, frente a temas

ambientales como es la mitigación del impacto ambiental por consumir agua en botellas hechas con un material compostable y biodegradable como el Ecovio®. Adicionalmente, al realizar un análisis de escenarios en el modelo de dinámica de sistemas tomando la tasa de reciclaje como el valor a variar (Alemania y Noruega: 40 %, Colombia: 27.5 % y Malta:13 %) se puede observar que antes de 50 años existe una variación en la acumulación de residuos plásticos en el sistema; sin embargo, después de 100 años la acumulación en cualquier caso es la misma. Lo anterior se debe a que el reciclaje no puede hacerse de forma indefinida sobre la resina, en promedio se puede llevar a cabo de 4 a 5 veces y luego de este ciclo los residuos plásticos se desechan y al tener un período de degradación tan largo, se acumulan. Lo anterior permite deducir que el reciclaje es solo una medida de mitigación del impacto en el corto a mediano plazo. No obstante, para lograr resultados favorables en el largo plazo es necesario tomar medidas drásticas de reemplazo del material utilizado para envasar agua y otros alimentos de consumo masivo que actualmente se envasan en plásticos tradicionales, por resinas que puedan degradarse y reducir el impacto ambiental como el Ecovio®.

3. Luego de diseñar un modelo de negocio apropiado para el envase de agua hecho con Ecovio® en Colombia se pudo concluir que este proyecto de transformación es atractivo y viable para los inversionistas. Considerando el montaje de una planta de compostaje para atender las necesidades inicialmente en la ciudad de Bogotá y abarcando un 1 % del mercado de agua embotellada en Colombia el VPN después de cinco años es positivo (\$187,121,460), la TIR (20,6 %) es mayor que la tasa de descuento planteada por los inversionistas, la cual es del 18 % y el WACC obtenido (16,29 %) es menor que la tasa interna de retorno favoreciendo este proyecto. Finalmente, el período de recuperación de la inversión es de dos años. Pero lo realmente importante, es que sumado a todo lo anterior, la mitigación del impacto ambiental por la reducción de residuos plásticos en Colombia y en especial en ciudades como Bogotá hace que este proyecto sea altamente atractivo para los inversionistas y sustancialmente una alternativa que soluciona el problema ambiental de fondo. Aun si no fuera viable económicamente –que lo es- es necesario y una obligación moral que se debe analizar desde todos los ámbitos.
4. Se logró determinar un modelo de ingeniería para la transformación del empaque de plástico del agua embotellada por un envase más sostenible de Ecovio® en Colombia, permitiendo que dicho modelo contribuya a disminuir los efectos contaminantes de los sistemas tradicionales. Se logró demostrar mediante la simulación del sistema cómo es necesario un cambio radical de los materiales utilizados como envase del agua, utilizando

materiales como el Ecovio®, y a través de modelo de negocio planteado, se mostró cómo es viable este proyecto de transformación del envase de agua financieramente y cuales estrategias pueden ser utilizadas para llevarla a cabo.

RECOMENDACIONES

El modelo planteado puede ser extendido a la transformación de envases de diferentes alimentos y productos. Es importante empezar a cambiar el material utilizado para packaging en el país. Se deberá revisar caso a caso el mercado y el entorno no solo técnico de los envases a estudiar, pero se podrá utilizar las bases de simulación y de metodología planteadas en esta tesis para ir transformando poco a poco el manejo de los plásticos y sus residuos en el país y en el mundo. Por otra parte, este modelo puede ser aplicado a otras ciudades y ámbitos, no solo en Colombia sino en el mundo.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aciplast. (2014). Guía aprovechamiento de residuos plásticos. *Aciplast*, 1–20. Retrieved from http://aciplast.org/images/aciplast/otros/guia_aprovechamiento_residuos_plasticos.pdf
- Acoplásticos. (2002). Plásticos en Colombia 2001-2002. *XXXII*, 151.
- Allsopp, M., Walters, A., Santillo, D., & Johnston, P. (2006). Plastic Debris in the World's Oceans. *Greenpeace International*, 43. Retrieved from <http://www.mendeley.com/research/dbris-plastiques-et-pollution-des-ocans/>
- Alonso, M. S., Lozano, A. R., Apaza, A. M., & Saravia, J. I. (n.d.). Degradación de poliestireno y polipropileno con microorganismos de vermicompost. *Organización Panamericana de La Salud*, 5, 5–9. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/aidis12/plasticos.pdf>
- Aluna Consultores Limitada. (2011). Aproximación al mercado de reciclables y las experiencias significativas. *Estudio Nacional de Reciclaje Y Los Recicladores*. Retrieved from <http://www.cempre.org.co/documentos/7>. Aproximación_mercado RECICLABLES VERSION final agosto 1 de 2011.pdf
- Álvarez, C. (2010). ¿ Cuántas veces se puede reciclar ? *El País*. Retrieved from <http://blogs.elpais.com/eco-lab/2010/10/cuantas-veces-se-puede-reciclar.html>
- ANLA. (2013). Certificación N° 3990. *Resolución 271*, 10. Retrieved from http://www.anla.gov.co/sites/default/files/8762_cer_3990_230413.pdf
- Avendaño Acosta, E. F. (2015). Panorama actual de la situación mundial, nacional y distrital de los residuos sólidos. Análisis del caso Bogotá D.C. Programa BASURA CERO. *Stadium UNAD*. Retrieved from <http://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/3417/1/79911240.pdf>
- Banco de la República. (2017). Información recopilada y calculada por el Departamento Técnico y de Información Económica del Cuadro Resumen - Principales indicadores económicos. *Banco de La República*, 1–23.
- Barnes, D. K. a, Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1526), 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- BASF. (2011). Ecovio® F Mulch for biodegradable mulch film applications. *BASF Research and Development Ecovio®*, 1–40.
- BASF Biodegradable Polymers. (2015). Ecovio ® T2308, *Version 1.*, 1–3.
- BASF Biodegradable Polymers. (2016). Transforming visions into realities: Compostable polymers with biobased content, 20. Retrieved from http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/function/conversions:/publish/comm on/upload/biodegradable_plastics/Ecovio_Brochure.pdf
- BASF SE. (2016). ecovio ® F2224, Biodegradable compund for compostable film and blow

- molding applications, *Version 1*.(December), 1–4.
- BASF SE, & Duric, T. (2014). Biodegradable packaging solutions with ecovio ®, (December), 2014.
- Bernardo, M., Mondati, M., Pacheco, M., & Prosetti, E. (2003). SOBRE LA INDUSTRIA DE LOS PLÁSTICOS. *UNCuyo, Facultad de Ingeniería*, 23. Retrieved from <http://fing.uncu.edu.ar/catedras/industrias-1/ano-2013/Industria de los Plasticos.pdf>
- BIOTA Spring Water. (n.d.). The Bottle: Fact Sheet. Retrieved from <http://www.biotaspringwater.com/index02bf.html?q=bottle/facts>
- Broseta, A. (2017). Mejores CDT para 2017 - Rankia. Retrieved from <https://www.rankia.co/blog/mejores-cdts/1866633-mejores-cdt-para-2017>
- Brundtland, G. H. (1987). Nuestro Futuro Común. *Informe de La Comisión Mundial Sobre El Medio Ambiente Y El Desarrollo, ONU*. Retrieved from <https://www.scribd.com/doc/105305734/ONU-Informe-Brundtland-Ago-1987-Informe-de-la-Comision-Mundial-sobre-Medio-Ambiente-y-Desarrollo>
- Cerqueira, M. (2016). Compostable film products for organic waste and shopping bags, 8. Retrieved from Intranet BASF
- Chen, L., Pelton, R. E. O., & Smith, T. M. (2016). Comparative life cycle assessment of fossil and bio-based polyethylene terephthalate (PET) bottles. *Journal of Cleaner Production*, 137, 667–676. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.094>
- DANE. (2016). Cuenta Ambiental y Económica de Flujos de Materiales - Residuos Sólidos 2012-2014p. *Boletín Técnico*, 2–5. Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuentas-residuos/BT-Cuenta-residuos-2014p.pdf
- DNP, S. (2015). *Disposición Final de Residuos Sólidos*. Retrieved from <http://www.superservicios.gov.co/content/download/10760/88380>
- Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum, & McKinsey Center for Business and Environment. (2016). THE NEW PLASTICS ECONOMY, RETHINKING THE FUTURE OF PLASTICS, 1–120. Retrieved from <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>
- Euromonitor International. (2016a). Soft Drinks in 2016 : Water , Water Everywhere. *Datagraphics*, 1–2. Retrieved from https://www.portal-euromonitor-com.ez.unisabana.edu.co/MediaLibrary//PDF//pdfbottledWater-v10_635889358175250865.pdf
- Euromonitor International. (2017a). Bottled water in colombia, (February). Retrieved from <http://www.portal.euromonitor.com.ez.unisabana.edu.co/portal/analysis/tab>
- Euromonitor International. (2017b). *Statistics Bottled Water in Colombia*. Retrieved from <http://www.portal.euromonitor.com.ez.unisabana.edu.co/portal/statistics/tab>
- Euromonitor International, P. (2016b). Bottled Water in Colombia, (February), 1–38. Retrieved from <http://www.portal.euromonitor.com.ez.unisabana.edu.co/portal/analysis/tab>

- García Olivares, A. A. (2006). *Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística inversa*. Retrieved from www.eumed.net/libros/2006a/
- Giraldo, M. R. (2012). *Simulador Financiero para Planes de Negocio*. Bogotá D.C.: Núcleo de emprendimiento FED, Universidad EAN.
- Gobierno Nacional de la República de Colombia. (2002). Decreto 1713 de 2002, 1–18. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=9863>
- Gomera M., A., Villamandos de la T., F., & Vaquero A., M. (2012). Medición y Categorización de la Conciencia Ambiental del Alumnado Universitario: Contribución de la Universidad a su fortalecimiento. *Revista de Currículum Y Formación Del Profesoradl*, 16(2), 193–212. <https://doi.org/ISSN 1138-414X>
- Google Trends. (2017). reciclaje - Explorar - Google Trends. Retrieved June 6, 2017, from <https://trends.google.es/trends/explore?date=2012-01-01 2016-12-31&geo=CO&q=reciclaje>
- Grupo Phoenix. (2016). GP Boletín Comercial, 1, 14. Retrieved from http://www.grupophoenix.com/wp-content/uploads/2016/11/GP_BoletinComercial.pdf
- Grupo Phoenix Colombia - Multidimensionales. (n.d.-a). GRUPO PHOENIX – GeoPack. Retrieved May 30, 2017, from <http://www.grupophoenix.com/linea-de-productos/geopack/>
- Grupo Phoenix Colombia - Multidimensionales. (n.d.-b). GRUPO PHOENIX – Línea GeoPack. Retrieved May 30, 2017, from <http://www.grupophoenix.com/innovacion/linea-geopack/>
- Hadad, S. (2015). Analytic hierarchy process analysis for choosing a corporate social entrepreneurship strategy. *Management & Marketing. Challenges for the Knowledge Society*, 10(3), 185–207. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1515/mmcks-2015-0014>.
- Häkkinen, T., & Vares, S. (2010). Environmental impacts of disposable cups with special focus on the effect of material choices and end of life. *Journal of Cleaner Production*, 18(14), 1458–1463. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.05.005>
- Harst, E. Van Der, & Potting, J. (2013). A critical comparison of ten disposable cup LCAs. *Environmental Impact Assessment Review*, 43, 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2013.06.006>
- Haugaard, V. K., Weber, C. J., Danielsen, R., & Bertelsen, G. (2002). Quality changes in orange juice packed in materials based on polylactate. *European Food Research and Technology*, 214(5), 423–428. <https://doi.org/10.1007/s00217-001-0474-x>
- Ibarra, D. W., Redondo, J. M., & Clave, P. (2011). La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento Modelo Sistémico para el Manejo de Residuos Sólidos en Instituciones Educativas en Colombia Systemic Model for solid waste management in educative institutions in Colombia.
- ICBF. (2010). *Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia 2010. Resumen Ejecutivo*. Retrieved from <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/GCFI/Base de datos ENSIN - Protocolo Ensin 2010.pdf>

- Illanes Esparza, J. F. (2004). Envases flexibles plásticos: Uso y aplicación en la industria alimentaria. *Universidad Austral de Chile*, 1–57.
- ItGreen Colombia Soluciones Ambientales. (n.d.-a). Agua Personalizada – It Green Colombia. Retrieved May 30, 2017, from <http://itgreencolombia.com/agua-personalizada/>
- ItGreen Colombia Soluciones Ambientales. (n.d.-b). Desechables – It Green Colombia. Retrieved May 30, 2017, from <http://itgreencolombia.com/desechables/>
- Jeon, H. J., & Kim, M. N. (2013). Biodegradation of poly(l-lactide) (PLA) exposed to UV irradiation by a mesophilic bacterium. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 85, 289–293. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.08.013>
- Kale, G., Auras, R., Singh, S. P., & Narayan, R. (2007). Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting conditions. *Polymer Testing*, 26(8), 1049–1061. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2007.07.006>
- Karamanlioglu, M., & Robson, G. D. (2013). The influence of biotic and abiotic factors on the rate of degradation of poly(lactic) acid (PLA) coupons buried in compost and soil. *Polymer Degradation and Stability*, 98(10), 2063–2071. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.07.004>
- Kasriel-Alexander, D. (2017). Top 10 Global Consumer Trends for 2015. *Euromonitor International*, 1–51.
- Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the Gap: Why Do People Behave Environmentally and What are the Barriers to Pro-Environmental Behaviour. *Environmental Education Research*, 8(3), 239–260. <https://doi.org/10.1080/1350462022014540>
- London Bio Packaging. (2012). Case Study: The “Green Magic” of the Games. Retrieved from http://www.natureworksllc.com/~media/Files/NatureWorks/Ingeo-in-Use/Case-Studies/London-Olympics_London-Bio-Packaging_NatureWorks_Case-Study_pdf.pdf?la=en
- Maldonado, A. T. (2012). La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos : una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá. *Universidad Nacional de Colombia-IDEA*, 1–120.
- Melrose, J., Perroy, R., & Careas, S. (2015). Buenas practicas para el ahorro de energia en las empresas. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Minambiente. (1998). Política para la gestión integral de residuos solidos. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Minambiente. (2002). *Selección de Tecnologías de Manejo INtegral de Residuos Sólidos*. Retrieved from <https://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/residuossolidos/LIBRO 4 -PARTE 1ok.pdf>
- Minambiente. (2017). Información general: Programas de residuos posconsumo. Retrieved April 11, 2017, from <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/28-plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana>
- Minambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Colombia comparte experiencia posconsumo en

Foro Global de OCDE. *Sala de Prensa Minambiente*. Retrieved from <http://www.minambiente.gov.co/index.php/sala-de-prensa/2-noticias/579-el-uso-sostenible-de-los-bosques-prioridad-de-minambiente-21>

Ministerio de Ambiente, V. y D. T. D. de D. S. S. (2004). Sector Plásticos, Guías Ambientales. Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo, (ISBN 958-97393-4-2).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Resolución 668 de 2016.

Ministerio de Transporte. (2010). Estructura de costos de operación vehicular, 1–42.

Ministerio Del Medio Ambiente. (2013). Programas Posconsumo de Residuos, 2. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosAmbientalesySectorialyUrbana/pdf/Programa_posconsumo_existente/PLEGABLE_POSCONSUMO.pdf

Mojo, S., & Holstorm, K. (2003). BIOTA Spring Water's bottle marks the first water bottle approved by the Biodegradable Products Institute. *Biodegradable Products Institute*. <https://doi.org/10.5235/204976114814222476>

Muñoz, M. (2016). Una ciudad sin botellas de plástico. *El Diario*. Retrieved from http://www.eldiario.es/paisajesurbanos/ciudad-botellas-plastico_6_477062296.html

NAPCOR. (2010). PET Features, Benefits and Information Resources, 1–12. Retrieved from http://www.napcor.com/pdf/v4-11_NAPCOR_PET_Interactive.pdf

Ocoro, M. F., & Chavarro, L. E. (2014). Estudio dinámico del impacto ambiental asociado al reciclaje y reutilización de envases PET en el Valle del Cauca.

Pacific Institute. (2007a). Bottled Water and Energy Fact Sheet, (February). Retrieved from <http://pacinst.org/publication/bottled-water-and-energy-a-fact-sheet/>

Pacific Institute. (2007b). Fact Sheet. Bottled Water and Energy: Getting to 17 Million Barrels, (December), 2–3. Retrieved from http://pacinst.org/wp-content/uploads/2013/04/bottled_water_factsheet.pdf

Peelman, N., Ragaert, P., De Meulenaer, B., Adons, D., Peeters, R., Cardon, L., ... Devlieghere, F. (2013). Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 32(2), 128–141. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.06.003>

Perdomo, G. A. (2002). Plásticos Y Medio Ambiente. *Revista Iberoamericana Polímeros Volumen*, 3(2), 1–13.

Pérez, M. G. (2005). Modelo de simulación del compostaje. *Boletín de Dinámica de Sistemas, Junio*. Retrieved from <http://dinamica-de-sistemas.com/revista/0605f.htm>

Prieto Cruz, L. E., Garay Salamanca, C. A., Cárdenas Mendoza, A. R., Ocampo Seferian, P., Ortega Pérez, C., Martignon Lizarralde, N., ... Rátiva González, J. P. (2016). Plásticos en Colombia 2016-2017. *PUBLICACIÓN DE ACOPLÁSTICOS Plásticos, Química, Petroquímica, Cauchos, Pinturas, Tintas Y Fibras 2016 - 2017, 46 Edición*(ISSN-0120-8624-X).

Proplanet SAS. (2017). Línea de empaque de alimentos Proplanet. Retrieved from

http://www.proplanet.com.co/pdf/ficha_alimentos.pdf

- Rivera Távora, R. (2012). Normatividad reciclaje de plasticos, 97. Retrieved from http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_63_186_28_558.pdf
- Rosen, S. R. (2002). *Thermoforming - Improving Process Performance*. Society of Manufacturing Engineers (SME). Society of Manufacturing Engineers (SME). Retrieved from https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpTIPP0002/viewerType:toc/root_slug:thermoforming-improving
- Ruben, E. (2003). Oportunidades para reducir la generación de los desechos sólidos y reintegrar materiales recuperables en el círculo económico. *Materiales Recuperables En El Círculo Económico*, 1–103. Retrieved from file:///C:/Users/lab03/Desktop/reciclaje.pdf
- Sanchez Ruiz, D. (2013). Estudio de la Factibilidad para la creación de la planta de abonos orgánicos “Orgánicos de Colombia,” 118. Retrieved from <http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/4870/1/TAA01264.pdf>
- Selke, S. E. M., Culter, J. D., Selke, S. E. M., & Culter, J. D. (2016). *Plastics Packaging*. *Plastics Packaging*, I–XX. <https://doi.org/10.3139/9783446437197.fm>
- Sin, L. T., Rahmat, A. R., & Rahman, W. A. W. A. (2012). *Polylactic Acid - PLA Biopolymer Technology and Applications*. Elsevier. Elsevier. Retrieved from https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpPAPLABT1/viewerType:toc/root_slug:polylactic-acid-pla-biopolymer
- Sisduan Colombia. (2016a). Importaciones NatureWorks, Proplanet, ItGreen, Ecogreen Sisduan. Retrieved from WWW.SICEX.COM
- Sisduan Colombia. (2016b). Imports Enka de Colombia Sisduan. Retrieved from www.sicex.com
- Teconología del Plástico. (2005). Primera botella biodegradable para agua. Retrieved from <http://www.plastico.com/temas/Primera-botella-biodegradable-para-agua+3038054>
- Teconología del Plástico. (2014). Danone convierte empaques de yogurt a PLA, 96481. Retrieved from <http://www.plastico.com/temas/Danone-convierte-empaques-de-yogurt-a-PLA+96481>
- Telford, H. (2016). Soft drinks global overview: growth opportunities between category lines. *Passport, Euromonitor*, (March). Retrieved from <http://www.portal.euromonitor.com.ez.unisabana.edu.co/portal/analysis/tab>
- Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R. U., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., ... Takada, H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1526), 2027–45. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>
- Thornton, P. J. (2002). Environmental Polyvinyl Chloride Building Materials. *Healthy Building Networks*. Retrieved from <https://healthybuilding.net/uploads/files/environmental-impacts-of-polyvinyl-chloride-building-materials.pdf>
- UAESP, U. A. E. de S. P., & JICA, A. de C. I. del J. (2013). Proyecto de Estudio del Plan

Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos en Bogotá D.C., *Volumen II(1)*. Retrieved from http://www.uaesp.gov.co/Uaesp_jo/images/SubdRBL/jica/GEJR13213_BOGOTA_INFORME1.pdf

Vaverková, M., Adamcová, D., Kotovicová, J., & Toman, F. (2014). Evaluation of biodegradability of plastics bags in composting conditions. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 21(1), 45–57. <https://doi.org/10.2478/eces-2014-0004>

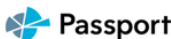
Weber, C. J. (2000). *Biobased Packaging Materials for the Food Industry*. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200105\)53](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200105)53)

10. ANEXOS

Anexo 1. Consumo de agua en Colombia:

Los datos utilizados para el consumo de agua en Colombia se obtuvieron de la base de datos Euromonitor (Euromonitor International, 2017b) para el mercado de agua embotellada en Colombia desde el año 2002 hasta el año 2016. Se utilizó el valor del mercado a precios constantes de 2016, que permite hacer el análisis sin tener que considerar la inflación año a año y así poder representar el crecimiento real del mercado.

Figura 45. Información del tamaño de mercado de agua embotellada en Colombia del año 2002-2016. (Euromonitor International, 2017b).

 on-trade refers to the sale of licensed goods such as alcohol where the product is sold to be consumed 'on' the premises and off-trade alcohol applies to those that are consumed 'off' or away from the premises.

0 RSP: Retail Selling Price / RTD: Ready To Drink / MSP: Manufacturer Selling Price

Market Sizes | Historical/Forecast

Geographies	Categories	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Colombia	Bottled Water - Total Value RSP - COP bn - Constant 2016 Prices	1,223.90	1,146.60	1,219.70	1,359.90	1,498.50	1,550.90	1,603.00	1,610.00	1,734.80	1,780.10	1,841.20	1,950.10	2,097.50	2,226.10	2,337.10

Valores utilizados

Fuente: (Euromonitor International, 2017b).

Para introducir la información del mercado al software Vensim® se realizó un ajuste de estos datos a una distribución de probabilidad. Se utilizó el software Minitab® para el análisis estadístico de datos.

Figura 46. Análisis estadístico de bondad de ajuste mediante prueba Anderson-Darling para mercado de agua embotellada en Colombia. (Elaboración propia en software Minitab®)

Descriptive Statistics

N	N*	Mean	StDev	Median	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
15	0	1678.63	366.798	1610	1146.6	2337.1	0.277704	-0.771477

Box-Cox transformation: $\lambda = 0$

Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P	LRT	P
Normal	0.186	0.889		
Box-Cox Transformation	0.176	0.905		
Lognormal	0.176	0.905		
3-Parameter Lognormal	0.200	*	0.998	
Exponential	4.312	<0.003		
2-Parameter Exponential	0.756	0.124	0.000	
Weibull	0.235	>0.250		
3-Parameter Weibull	0.272	>0.500	0.157	
Smallest Extreme Value	0.381	>0.250		
Largest Extreme Value	0.234	>0.250		
Gamma	0.190	>0.250		
β-Parameter Gamma	0.191	*	1.000	
Logistic	0.200	>0.250		
Loglogistic	0.198	>0.250		
3-Parameter Loglogistic	0.200	*	0.973	

ML Estimates of Distribution Parameters

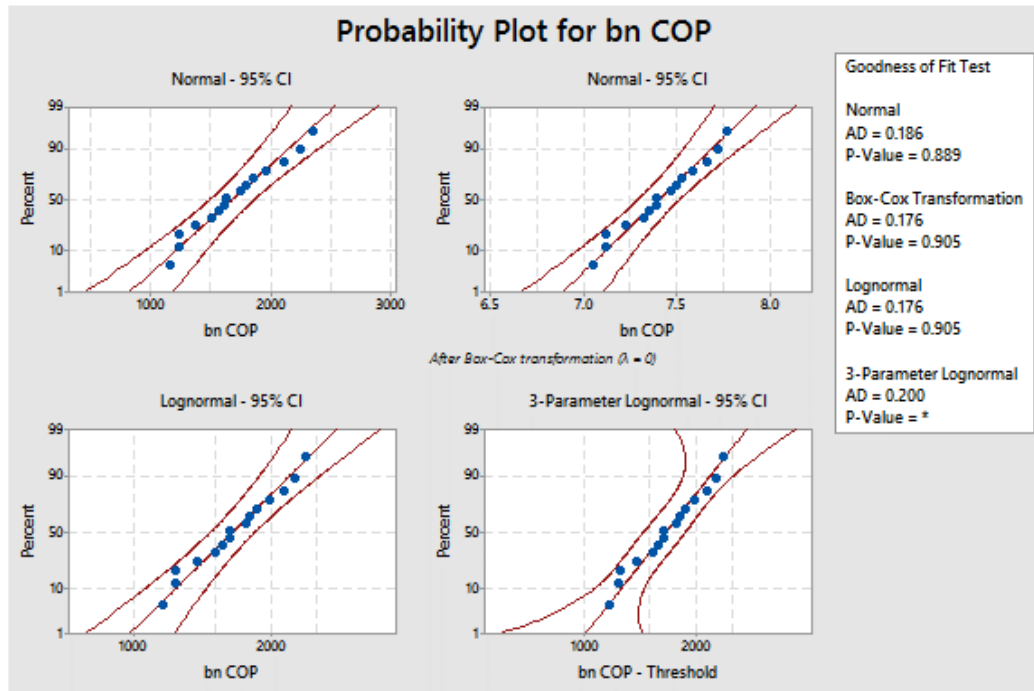
Distribution	Location	Shape	Scale	Threshold
Normal*	1678.62667		366.79763	
Box-Cox Transformation*	7.40322		0.22059	
Lognormal*	7.40322		0.22059	
3-Parameter Lognormal	7.40810		0.21207	-7.84079
Exponential			1678.62667	
2-Parameter Exponential			570.01729	1108.59885

Fuente: (Elaboración propia en software Minitab®)

Se puede observar que la distribución normal y la transformación de Box-Cox son las que mejor se ajustan a los datos, por tener los valores mayores de P-value. Siendo así, se escogió la normal, ya que no es necesario llevar a cabo una transformación para ajustar los datos.

El ajuste a la normalidad se puede ver en la Figura 47.

Figura 47. Prueba de normalidad para mercado de agua embotellada en Colombia. (Elaboración propia en software Minitab®)



Distribución normal: P-value > 0.05

Fuente: (Elaboración propia en software Minitab®)

De acuerdo a lo anterior se definió el parámetro *Consumo de agua en Colombia* en Vensim® como RANDOM NORMAL (1146.6 , 2337.1 , 1678.63 , 3667.98 , 2000).

Interés en temas de conciencia ambiental

La información de interés en temas de conciencia ambiental se tomó de Google Trends desde el año 2012 para todo el territorio colombiano. El ajuste se hizo igual que con el mercado de agua embotellada.

Figura 48. Interés en temas de reciclaje en Colombia para los años 2012- 2016. Elaboración propia basada en (Google Trends, 2017)



Fuente: Elaboración propia basada en (Google Trends, 2017).

Figura 49. Análisis estadístico de bondad de ajuste mediante prueba Anderson-Darling para interés de conciencia ambiental. (Elaboración propia en software Minitab®)

```

Descriptive Statistics

N  N*   Mean   StDev  Median  Minimum  Maximum  Skewness  Kurtosis
5  0  58.2719  1.30992  57.8846  56.8846  59.8462  0.345480  -2.63797

Box-Cox transformation: λ = -2.48359
|

Goodness of Fit Test

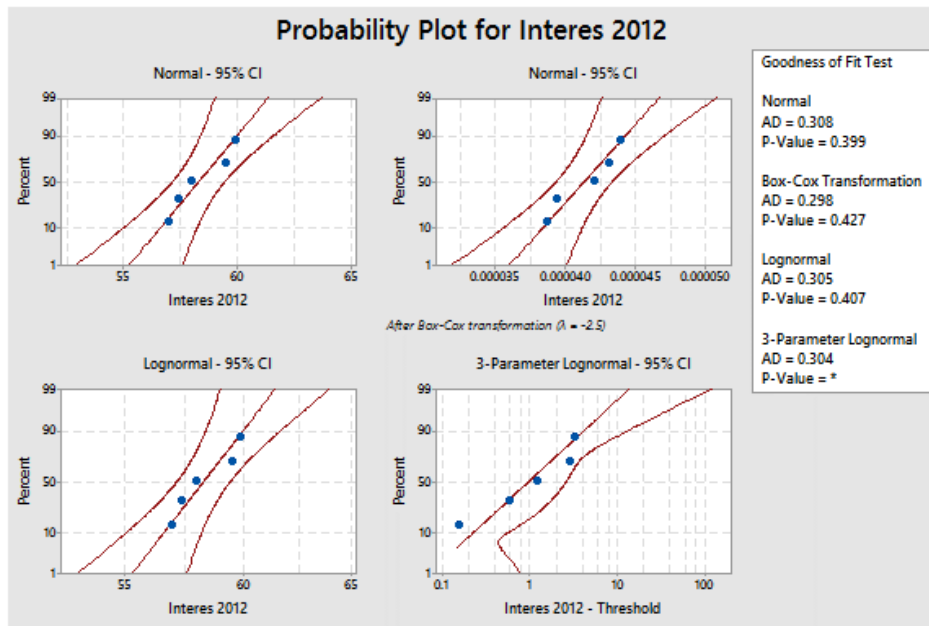
Distribution      AD      P  LRT P
Normal           0.308  0.399
Box-Cox Transformation  0.298  0.427
Lognormal        0.305  0.407
3-Parameter Lognormal  0.304  *  0.354
Exponential      2.207  0.003
2-Parameter Exponential  0.296  >0.250  0.000
Weibull          0.407  >0.250
3-Parameter Weibull  0.374  0.351  0.489
Smallest Extreme Value  0.410  >0.250
Largest Extreme Value  0.333  >0.250
Gamma            0.378  >0.250
3-Parameter Gamma  0.456  *  1.000
Logistic         0.351  >0.250
Loglogistic      0.347  >0.250
3-Parameter Loglogistic  0.316  *  0.617

ML Estimates of Distribution Parameters

Distribution      Location      Shape      Scale      Threshold
Normal*          58.27192
Box-Cox Transformation*  0.00004      0.00000
Lognormal*       4.06492      0.02243
3-Parameter Lognormal  -0.04395      1.12070  56.73727
Exponential      58.27192
2-Parameter Exponential  1.73410  56.53779
    
```

Fuente: (Elaboración propia en software Minitab®).

Figura 50. Prueba de normalidad para interés en conciencia ambiental en Colombia. (Elaboración propia en software Minitab®)



Distribución normal: P-value > 0.05

Fuente: (Elaboración propia en software Minitab®).

De acuerdo a lo anterior se definió el parámetro Interés en temas de conciencia ambiental como RANDOM NORMAL (0, 100, 58.271, 1.3099, 40).

El peso de cada factor dentro de la variable *conciencia ambiental* fue definida con base en la apreciación del experto en toma de decisiones de un mercado, Gonzalo Oñate (G. Oñate, entrevista personal, Mayo 15 de 2017).

En dicha entrevista y con base en su amplia experiencia en el estudio de mercados y toma de decisiones de los consumidores, se determina que el peso del componente afectivo/conativo es de aproximadamente un 70% y del componente activo de un 30%. De acuerdo a lo anterior, se definieron los parámetros introducidos en Vensim® para el modelo propuesto como se muestra en la Figura 51.

Figura 51. Parámetros de *Conciencia ambiental* introducidos al modelo propuesto. (Elaboración propia)

Peso tasa reciclaje: 30%		
Peso interés: 70%		
Conciencia inicial en 2012:	0.484	Usaré 0.4 como valor inicial

Fuente: (Elaboración propia).

Peso de botella de agua

Para el tratamiento de datos del peso de una botella de agua hecha de PET, se tomó el promedio de los últimos cuatro años de los que se tiene información de NAPCOR (NAPCOR, 2010) sobre los pesos de botellas de 0.5L. Esto debido a que en los últimos años se ha venido disminuyendo el peso de las botellas de agua como un intento de generar menos residuos de plástico.

Tabla 42. Peso de botella de agua utilizado en modelo propuesto. Elaboración propia basado en (NAPCOR, 2010).

Año	Peso1 (g)	Peso2 (g)
1990	24	*
1992	21	*
1995	19	*
2000	17.5	24
2001	16.5	24
2002	14.75	24
2003	14.7	19.1
2004	14.6	19.1
2005	14.5	19.1
2006	14.4	19.1
2007	13.4	15
2008	12.3	13.9
2009	11.8	11
2010	9	11

Promedio de últimos 4 años:	
12.175	g
0.012175	kg

Fuente: Elaboración propia basado en (NAPCOR, 2010).

Precio de botella de agua

Para el precio de botella de agua en Colombia, se siguieron los parámetros establecidos por el estudio de mercado de agua embotellada en Colombia de Euromonitor (Euromonitor International, 2017a). Esto es un promedio ponderado de los precios de las diferentes presentaciones de agua de diferentes marcas en Colombia. El precio resultante es de \$2.853.

Tabla 43. Información de precios de agua embotellada en Colombia en 2016. (Euromonitor International, 2017b)

Brands	Company name	Outlets	Pack size	Price (COP)	L agua
Brisa	Industria Nacional de Gaseosas SA	Supermarket	600 ml	1,530.00	0.6
Cristal	Postobón SA	Supermarket	600 ml	1,497.00	0.6
Manantial	Industria Nacional de Gaseosas SA	Supermarket	600 ml	1,940.00	0.6
Oasis	Postobón SA	Hypermarket	600 ml	1,350.00	0.6
Perrier	Dicermex SA	Supermarket	330 ml	6,650.00	0.33
S Pellegrino	Inverleoka SA	Supermarket	750 ml	6,780.00	0.75
H2OH!	Postobón SA	Forecourt retailer	600 ml	2,200.00	0.6
H2OH!	Postobón SA	Supermarket	600 ml	2,000.00	0.6
éxito	Almacenes Éxito SA	Supermarket	600 ml	1,030.00	0.6
Brisa	Industria Nacional de Gaseosas SA	Supermarket	5.5 litros	2,160.00	5.5
Brisa	Industria Nacional de Gaseosas SA	Supermarket	600 ml	1,430.00	0.6
Cristal	Postobón SA	Supermarket	6 litros	2,000.00	6
Cristal	Postobón SA	Supermarket	600 ml	1,470.00	0.6
Evian	Global Wine & Spirits Ltda	Supermarket	1500 ml	13,170.00	1.5
Evian	Global Wine & Spirits Ltda	Supermarket	500 ml	7,420.00	0.5
La Parcela	La Parcela SA	Supermarket	750 ml	1,350.00	0.75
Manantial	Industria Nacional de Gaseosas SA	Supermarket	600 ml	1,970.00	0.6
Oasis	Postobón SA	Hypermarket	6 litros	2,000.00	6
Oasis	Postobón SA	Hypermarket	600 ml	1,350.00	0.6
éxito	Almacenes Éxito SA	Supermarket	5 litros	3,270.00	5
éxito	Almacenes Éxito SA	Supermarket	600 ml	1,680.00	0.6

Fuente: (Euromonitor International, 2017b).

Anexo 2. Validación de resultados

Para la validación de resultados del modelo actual propuesto, se compararon los datos obtenidos con la simulación de billones de kg de PET en los vertederos para los años 2012-2014 con los datos reales para el mismo período de tiempo. En Colombia no existe una base de datos que pueda definir cuántos kg de PET están en vertederos, sin embargo, a partir de información disponible este valor puede ser calculado.

El cálculo de los datos reales se realiza a partir de la cantidad de residuos generados en Colombia, (información tomada de reportes del DANE) la composición de la basura (información tomada de la UAESP Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos) y la cantidad de PET consumido en Colombia para envases (Información tomada de Acoplásticos). Toda la información disponible es de los años 2012-2014. Siendo así, los resultados reales calculados se muestran en la Tabla 44.

Tabla 44. Billones de kg (Millones de toneladas) de PET en vertederos en Colombia para los años 2012-2014. Elaboración propia basada en (DANE, 2016), (UAESP & JICA, 2013) y (Aluna Consultores Limitada, 2011).

Año	Millones de toneladas de residuos sólidos	Mio MT Botellas agua (PET)
2012	18.2	0.0685
2013	19.3	0.0726
2014	21.1	0.0794

Fuente: Elaboración propia basada en (DANE, 2016), (UAESP & JICA, 2013) y (Aluna Consultores Limitada, 2011).

Tabla 45. Billones de kg de PET en vertederos en Colombia para los años 2012-2014 según simulación del modelo propuesto. Elaboración propia basada en modelo Vensim®.

Año	Mio MT (o kg bn) botellas en vertederos VENSIM	Año simulación
2012	0.0665	11
2013	0.0739	12
2014	0.0796	13

Fuente: Elaboración propia basada en modelo Vensim®.

Figura 52. Billones de kg de PET en vertederos en Colombia para los años 2012-2014 resultados directos de Vensim®. Elaboración propia basada en modelo Vensim®.

Time (Año)	11	12	13
"Vertederos" Runs:	Resultados	Current	
Vertederos	0.066513	0.0739521	0.0796565

Fuente: Elaboración propia basada en modelo Vensim®.

Para terminar la validación, se compararon estadísticamente los datos obtenidos con la simulación con los datos reales calculados. Lo anterior se realizó mediante una prueba T-student de diferencia de medias. El resultado fue significativo, las medias son iguales estadísticamente y puede considerarse válido el modelo propuesto.

Figura 53. Resultados de prueba T-Student para diferencia de medias de datos reales calculados y datos obtenidos mediante a simulación del modelo propuesto. (Elaboración propia basada en el software Minitab®)

Two-Sample T-Test and CI: Real kg bn; Vensim kg bn

Two-sample T for Real kg bn vs Vensim kg bn

	N	Mean	StDev	SE Mean
Real kg bn	3	0.07348	0.00551	0.0032
Vensim kg bn	3	0.07333	0.00657	0.0038

Difference = μ (Real kg bn) - μ (Vensim kg bn)
 Estimate for difference: 0.00015
 95% CI for difference: (-0.01560; 0.01590)
 T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 0.03 P-Value = 0.978 DF = 3

P-value>0.05, las medias son iguales.

Fuente: Elaboración propia basada en el software Minitab®.

Anexo 3. Evaluación de las estrategias planteadas para la transformación del envase de agua en Colombia mediante AHP

	Rentabilidad	Operación	Sostenibilidad	Aceptación cliente final
Rentabilidad	1	3	0.14	0.14
Operación	0.33	1	0.11	0.14
Sostenibilidad	7	9	1	1
Aceptación cliente final	7	7	1	1
	15.33	20	2.25	2.29

	Rentabilidad	Operación	Sostenibilidad	Aceptación cliente final
Rentabilidad	0.07	0.15	0.06	0.06
Operación	0.02	0.05	0.05	0.06
Sostenibilidad	0.46	0.45	0.44	0.44
Aceptación cliente final	0.46	0.35	0.44	0.44
	1	1	1	1

W	W%
0.09	9%
0.05	5%
0.45	45%
0.42	42%
	100%

PC: Planta compostaje	IP: Difusión impacto plásticos	PSP: Presentación de alternativas al sector público
RC: Recolección cerrada residuos	AR: Difusión necesidad de alternativa al reciclaje	AM: Alianza marcas fuertes de bebidas
BD: Botella diseños exclusivos	MA: Nueva marca de agua	
BP: Botella pigmentada	ME: Nueva marca de envase	
BC: Botella color natural		

Rentabilidad:

	PC	RC	BD	BP	BC	IP	AR	MA	ME	PSP	AM
PC	1	1	7	7	7	0.33	3	1	1	7	7
RC	1	1	7	7	7	0.33	3	1	1	7	7
BD	0.14	0.14	1	0.20	0.11	0.14	0.17	1	1	5	1
BP	0.14	0.14	5	1	0.20	0.14	0.17	1	1	6	1
BC	0.14	0.14	9	5	1	0.14	0.17	1	1	7	1
IP	3	3	7	7	7	1	1	1	1	1	5
AR	0.33	0.33	6	6	6	1	1	1	1	0.14	5
MA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
ME	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6
PSP	0.14	0.14	0.20	0.17	0.14	1	7	1	1	1	4
AM	0.14	0.14	1	1	1	0.20	0.20	6	0.17	0.25	1
	8.05	8.05	45.20	36.37	31.45	6.30	17.70	16.00	10.17	36.39	38.17

	PC	RC	BD	BP	BC	IP	AR	MA	ME	PSP	AM
PC	0.124260355	0.124260355	0.154867257	0.19248396	0.222547436	0.052950076	0.169491525	0.0625	0.098360656	0.192345437	0.183406114
RC	0.124260355	0.124260355	0.154867257	0.19248396	0.222547436	0.052950076	0.169491525	0.0625	0.098360656	0.192345437	0.183406114
BD	0.017751479	0.017751479	0.022123894	0.005499542	0.003532499	0.02269289	0.009416196	0.0625	0.098360656	0.137389598	0.026200873
BP	0.017751479	0.017751479	0.110619469	0.027497709	0.006358498	0.02269289	0.009416196	0.0625	0.098360656	0.164867517	0.026200873
BC	0.017751479	0.017751479	0.199115044	0.137488543	0.031792491	0.02269289	0.009416196	0.0625	0.098360656	0.192345437	0.026200873
IP	0.372781065	0.372781065	0.154867257	0.19248396	0.222547436	0.158850227	0.056497175	0.0625	0.098360656	0.02747792	0.131004367
AR	0.041420118	0.041420118	0.132743363	0.164986251	0.190754945	0.158850227	0.056497175	0.0625	0.098360656	0.003925417	0.131004367
MA	0.124260355	0.124260355	0.022123894	0.027497709	0.031792491	0.158850227	0.056497175	0.0625	0.098360656	0.02747792	0.004366812
ME	0.124260355	0.124260355	0.022123894	0.027497709	0.031792491	0.158850227	0.056497175	0.0625	0.098360656	0.02747792	0.15720524
PSP	0.017751479	0.017751479	0.004424779	0.004582951	0.004541784	0.158850227	0.395480226	0.0625	0.098360656	0.02747792	0.104803493
AM	0.017751479	0.017751479	0.022123894	0.027497709	0.031792491	0.031770045	0.011299435	0.375	0.016393443	0.00686948	0.026200873
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

w	w%	W*w
0.143406652	14%	1.2%
0.143406652	14%	1.2%
0.038474464	4%	0.3%
0.051274251	5%	0.4%
0.074128644	7%	0.6%
0.168195557	17%	1.4%
0.098405694	10%	0.8%
0.067089781	7%	0.6%
0.080984184	8%	0.7%
0.081502272	8%	0.7%
0.053131848	5%	0.5%

Operación:

	PC	RC	BD	BP	BC	IP	AR	MA	ME	PSP	AM
PC	1	8	4	6	8	0.20	0.17	5	4	0.11	0.14
RC	0.13	1	5	7	9	0.33	0.33	6	5	0.14	0.20
BD	0.25	0.20	1	5	9	0.17	0.17	0.14	0.33	0.20	0.25
BP	0.17	0.14	0.20	1	7	0.20	0.20	0.11	0.33	0.17	0.20
BC	0.13	0.11	0.11	0.14	1	0.25	0.25	0.11	0.25	0.14	0.17
IP	5	3	6	5	4	1	0.17	0.33	0.25	0.33	0.33
AR	6	3	6	5	4	6	1	3	0.25	0.33	6
MA	0.20	0.17	7	8	9	3	0.33	1	4	0.17	8
ME	0.25	0.20	3	3	4	4	4	0.25	1	0.20	6
PSP	9	7	5	6	7	3	3	6	5	1	7
AM	7	5	4	5	6	3	0.17	0.13	0.17	0.14	1
	29.12	27.82	41.31	51.14	68.00	21.15	9.78	22.07	20.58	2.94	29.29

	PC	RC	BD	BP	BC	IP	AR	MA	ME	PSP	AM
PC	0.034344591	0.287556342	0.096826251	0.117318436	0.117647059	0.009456265	0.017035775	0.22651685	0.194331984	0.037796976	0.004876859
RC	0.004293074	0.035944543	0.121032813	0.136871508	0.132352941	0.015760441	0.03407155	0.27182022	0.24291498	0.048596112	0.006827603
BD	0.008586148	0.007188909	0.024206563	0.097765363	0.132352941	0.007880221	0.017035775	0.00647191	0.016194332	0.068034557	0.008534504
BP	0.005724098	0.005134935	0.004841313	0.019553073	0.102941176	0.009456265	0.02044293	0.00503371	0.016194332	0.056695464	0.006827603
BC	0.004293074	0.003993838	0.002689618	0.002793296	0.014705882	0.011820331	0.025553663	0.00503371	0.012145749	0.048596112	0.005689669
IP	0.171722954	0.107833628	0.145239376	0.097765363	0.058823529	0.047281324	0.017035775	0.01510112	0.012145749	0.113390929	0.011379338
AR	0.206067544	0.107833628	0.145239376	0.097765363	0.058823529	0.283687943	0.102214651	0.13591011	0.012145749	0.113390929	0.204828091
MA	0.006868918	0.005990757	0.169445939	0.156424581	0.132352941	0.141843972	0.03407155	0.04530337	0.194331984	0.056695464	0.273104121
ME	0.008586148	0.007188909	0.072619688	0.058659218	0.058823529	0.189125296	0.408858603	0.01132584	0.048582996	0.068034557	0.204828091
PSP	0.309101317	0.251611799	0.121032813	0.117318436	0.102941176	0.141843972	0.306643952	0.27182022	0.24291498	0.340172786	0.238966106
AM	0.240412135	0.179722714	0.096826251	0.097765363	0.088235294	0.141843972	0.017035775	0.00566292	0.008097166	0.048596112	0.034138015
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

w	w%	W*w
0.103973399	10%	0.5%
0.095498708	10%	0.4%
0.03584102	4%	0.2%
0.0229859	2%	0.1%
0.012483176	1%	0.1%
0.072519917	7%	0.3%
0.133446083	13%	0.6%
0.110584873	11%	0.5%
0.103330262	10%	0.5%
0.222215233	22%	1.0%
0.087121429	9%	0.4%

Sostenibilidad:

	PC	RC	BD	BP	BC	IP	AR	MA	ME	PSP	AM
PC	1	2	8	7	6	6	5	0.50	0.33	0.20	6
RC	0.50	1	7	6	5	5	4	1	1	0.20	7
BD	0.13	0.14	1	0.33	0.33	2	3	0.20	0.14	0.25	7
BP	0.14	0.17	3	1	0.25	2	3	0.25	0.14	0.25	7
BC	0.17	0.20	3	4	1	3	4	0.25	0.17	0.25	7
IP	0.17	0.20	0.50	0.50	0.33	1	2	0.25	0.20	0.33	3
AR	0.20	0.25	0.33	0.33	0.25	0.50	1	0.25	0.20	0.25	3
MA	2	1	5	5	4	4	4	1	0.33	0.33	4
ME	3	1	7	7	6	5	5	3	1	0.50	5
PSP	5	5	4	4	4	3	4	3	2	1	6
AM	0.17	0.14	0.14	0.14	0.14	0.33	0.33	0.25	0.20	0.17	1
	12.47	11.10	38.98	35.31	27.31	31.83	35.33	9.95	5.72	3.73	56.00

	PC	RC	BD	BP	BC	IP	AR	MA	ME	PSP	AM
PC	0.080206245	0.18014154	0.205253513	0.198246797	0.219703575	0.188481675	0.141509434	0.05025126	0.058284763	0.053571429	0.107142857
RC	0.040103122	0.09007077	0.179596823	0.169925826	0.183086312	0.157068063	0.113207547	0.10050251	0.174854288	0.053571429	0.125
BD	0.010025781	0.012867253	0.025656689	0.009440324	0.012205754	0.062827225	0.08490566	0.0201005	0.024979184	0.066964286	0.125
BP	0.011458035	0.015011795	0.076970067	0.028320971	0.009154316	0.062827225	0.08490566	0.02512563	0.024979184	0.066964286	0.125
BC	0.013367707	0.018014154	0.076970067	0.113283884	0.036617262	0.094240838	0.113207547	0.02512563	0.029142381	0.066964286	0.125
IP	0.013367707	0.018014154	0.012828345	0.014160486	0.012205754	0.031413613	0.056603774	0.02512563	0.034970858	0.089285714	0.053571429
AR	0.016041249	0.022517692	0.00855223	0.009440324	0.009154316	0.015706806	0.028301887	0.02512563	0.034970858	0.066964286	0.053571429
MA	0.160412489	0.09007077	0.128283445	0.141604855	0.14646905	0.12565445	0.113207547	0.10050251	0.058284763	0.089285714	0.071428571
ME	0.240618734	0.09007077	0.179596823	0.198246797	0.219703575	0.157068063	0.141509434	0.30150754	0.174854288	0.133928571	0.089285714
PSP	0.401031223	0.450353849	0.102626756	0.113283884	0.14646905	0.094240838	0.113207547	0.30150754	0.349708576	0.267857143	0.107142857
AM	0.013367707	0.012867253	0.003665241	0.004045853	0.005231037	0.010471204	0.009433962	0.02512563	0.034970858	0.044642857	0.017857143
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

w	w%	W*w
0.134799371	13%	6.0%
0.126089699	13%	5.6%
0.041361151	4%	1.8%
0.048247015	5%	2.2%
0.06472125	6%	2.9%
0.032867951	3%	1.5%
0.026395155	3%	1.2%
0.111382197	11%	5.0%
0.175126392	18%	7.8%
0.222493569	22%	9.9%
0.016516249	2%	0.7%

Aceptación cliente final:

	PC	RC	BD	BP	BC	IP	AR	MA	ME	PSP	AM
PC	1	0.33	5	6	7	6	7	4	3	7	3
RC	3	1	6	7	8	6	7	3	4	7	4
BD	0.20	0.17	1	4	7	0.50	4	0.20	0.25	5	3
BP	0.17	0.14	0.25	1	5	0.50	4	0.14	0.20	4	2
BC	0.14	0.13	0.14	0.20	1	0.33	0.33	0.14	0.17	4	1
IP	0.17	0.17	2	2	3	1	5	0.17	0.20	9	7
AR	0.14	0.14	0.25	0.25	3	0.20	1	0.14	0.17	7	6
MA	0.25	0.33	5	6	7	6	7	1	0.25	7	0.25
ME	0.33	0.25	4	5	6	5	6	4	1	6	1
PSP	0.14	0.14	0.20	0.25	0.25	0.11	0.14	0.14	0.17	1	0.25
AM	0.33	0.25	0.33	0.50	1	0.14	0.17	4	1	4	1
	5.88	3.05	24.18	32.20	48.25	25.79	41.64	16.94	10.40	61.00	28.50

	PC	RC	BD	BP	BC	IP	AR	MA	ME	PSP	AM
PC	0.170109356	0.109161793	0.206815048	0.186335404	0.14507772	0.232672658	0.168096055	0.23615406	0.288461538	0.114754098	0.105263158
RC	0.510328068	0.32748538	0.248178058	0.217391304	0.165803109	0.232672658	0.168096055	0.17711555	0.384615385	0.114754098	0.140350877
BD	0.034021871	0.054580897	0.04136301	0.124223602	0.14507772	0.019389388	0.096054889	0.0118077	0.024038462	0.081967213	0.105263158
BP	0.028351559	0.046783626	0.010340752	0.031055901	0.103626943	0.019389388	0.096054889	0.00843407	0.019230769	0.06557377	0.070175439
BC	0.024301337	0.040935673	0.005909001	0.00621118	0.020725389	0.012926259	0.008004574	0.00843407	0.016025641	0.06557377	0.035087719
IP	0.028351559	0.054580897	0.082726019	0.062111801	0.062176166	0.038778776	0.120068611	0.00983975	0.019230769	0.147540984	0.245614035
AR	0.024301337	0.046783626	0.010340752	0.007763975	0.062176166	0.007755755	0.024013722	0.00843407	0.016025641	0.114754098	0.210526316
MA	0.042527339	0.109161793	0.206815048	0.186335404	0.14507772	0.232672658	0.168096055	0.05903852	0.024038462	0.114754098	0.00877193
ME	0.056703119	0.081871345	0.165452039	0.155279503	0.124352332	0.193893882	0.144082333	0.23615406	0.096153846	0.098360656	0.035087719
PSP	0.024301337	0.046783626	0.008272602	0.007763975	0.005181347	0.004308753	0.003430532	0.00843407	0.016025641	0.016393443	0.00877193
AM	0.056703119	0.081871345	0.01378767	0.01552795	0.020725389	0.005539825	0.004002287	0.23615406	0.096153846	0.06557377	0.035087719
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

w	w%	W*w
0.178445536	18%	7.5%
0.244253685	24%	10.3%
0.067071628	7%	2.8%
0.045365192	5%	1.9%
0.022194056	2%	0.9%
0.079183579	8%	3.3%
0.048443224	5%	2.0%
0.117935366	12%	5.0%
0.12612644	13%	5.3%
0.013606114	1%	0.6%
0.05737518	6%	2.4%

Anexo 4. Referencial para fijación de precios de productos

Para compost o abono:

Compost benchmarking					
kg	5	15	40	20	1
Precio	\$ 12,000	\$ 35,000	\$ 60,500	\$ 38,000	\$ 4,400
Precio/kg	\$ 2,400	\$ 2,333	\$ 1,513	\$ 1,900	\$ 4,400
Precio promedio	\$ 2,509				

Para botellas de Ecovio®:

En este caso se tomó como referencia el precio de venta de botellas de PET utilizadas para envasar agua y el precio de cada resina (Ecovio® y PET) como materia prima. El precio de la resina de Ecovio® no se puede presentar debido a que es información sensible de BASF.

Botellas PET 500 ml benchmarking			
Precio/unidad (sin IVA)	\$ 279.3	\$ 5,250	\$ 1,980
Precio promedio	\$ 1,130		

Se tomó el menor precio con la variación de precio de resina Ecovio® a PET kg/kg menos el 30% de ahorro de energía por temperatura de proceso

Precio venta botella Ecovio®	
\$ 765.3	Sin IVA
\$ 910.7	Con IVA

Anexo 5. Cuadro de costos y gastos fijos

Tabla 46. Cuadro de costos y gastos fijos del proyecto. (Elaboración propia en Simulador de Negocios)

PERIODO	2016	2017	2018	2019	2020
MARGEN DE CONTRIB TOTAL	\$ 1,898,962,786	\$ 2,215,279,282	\$ 2,527,070,624	\$ 2,841,263,021	\$ 3,164,660,068
(-) Total nómina del administrativa	\$ 540,360,000.0	\$ 567,378,000.0	\$ 595,746,900.0	\$ 625,534,245.0	\$ 656,810,957.3
(-) Total nómina del área de ventas	\$ 227,520,000.0	\$ 238,896,000.0	\$ 250,840,800.0	\$ 263,382,840.0	\$ 276,551,982.0
(-) Total nómina del área de Producción	\$ 205,251,420.0	\$ 215,513,991.0	\$ 226,289,690.6	\$ 237,604,175.1	\$ 249,484,383.8
(-) Presupuesto de la Mezcla de mercadeo	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
(-) Costos Fijos	\$ 73,128,960.0	\$ 76,785,408.0	\$ 80,624,678.4	\$ 84,655,912.3	\$ 88,888,707.9
(-) Servicio de la Deuda	\$ 166,673,988.9	\$ 156,201,826.2	\$ 145,729,663.6	\$ 135,257,500.9	\$ 124,785,338.2
(-) Depreciaciones	\$ 37,150,000.0	\$ 37,150,000.0	\$ 37,150,000.0	\$ 27,650,000.0	\$ 38,816,667.0
(-) Amortizaciones	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
COSTOS TOTALES	\$ 1,250,084,368.9	\$ 1,291,925,225.2	\$ 1,336,381,732.5	\$ 1,374,084,673.3	\$ 1,435,338,036.2
UAI	\$ 648,878,416.7	\$ 923,354,057.0	\$ 1,190,688,891.6	\$ 1,467,178,347.9	\$ 1,729,322,031.5

Fuente: Elaboración propia en Simulador de Negocios.

Anexo 6. Entrevistas a expertos realizadas durante la investigación

Entrevistas a Mario Cerqueira, experto regional para Biopolímeros de BASF SA (Brasil)

(M. Cerqueira, entrevista personal y capacitación, Noviembre 28 de 2016)

Carolina Jiménez Peña: Buenos días Mario, mucho gsto. Como te comen'te por teléfono, la idea para mi tesis de Maestría es simular lo que sucedería con la acumulación de plásticos (especialmente de botellas de agua) si se cambiara el PETpor Ecovio®. Es por eso que necesito me ayudes a entender de primera mano todas las propiedades y ventajas de los biopolímeros de BASF.

Mario Cerqueira: Hola Carolina, mucho gusto. Claro que sí, es interesante poder investigar un poco más sobre el Ecovio®, es de todo nuestro interés en BASF.

Carolina Jiménez Peña: ¿Qué so los polímeros bio basados?

Mario Cerqueira: Son polímeros cuyas materias primas vienen de fuentes renovables. Por ejemplo: Bio-PE, Bio PUR, Bio-PP, PLA y Ecovio®. Sin embargo, el Bio-PE, PUR o PP aunque son biobasados no son compostables, sólo reciclables. Demoran el mismo tiempo que un PE o PP de fuentes fósiles en degradarse.

Carolina Jiménez Peña: ¿El Ecovio® qué es y de qué está hecho?

Mario Cerqueira: El Ecovio® es un biopolímero de BASF que es compostable y biobasado. Está hecho de PLA y Ecoflex® en diferentes porcentajes, para obtener diferentes grados de resina y utilizarla en diferentes procesos. El Ecoflex® es un polímero de BASF que es 100%

compostable. Te traje algunos ejemplos de productos hechos con Ecovio® (un vaso de papel recubierto con Ecovio®, un vaso de plástico, una cuchara, y varios tipos de bolsas).

Carolina Jiménez Peña: ¿Para qué se utilizan las bolsas de Ecovio® generalmente?

Mario Cerqueira: Hay diferentes usos, unas soportan más peso y se usan como shopping bags, otras se utilizan para compostaje en casa o en plantas industriales. En Francia e Italia, por regulación, se promueve el compostaje. Tenemos en ese caso grados como el Ecovio() F23B1 que es recomendado para compostaje en casa. En Brasil, la regulación obliga que los residuos orgánicos sean dispuestos adecuadamente. Muchos de estos residuos de alimentos se recogen en bolsas de Ecovio y se llevan a plantas de compostaje para hacer abono.

Carolina Jiménez Peña: ¿Y qué pasa si las bolsas o productos de Ecovio® se llevan a rellenos sanitarios?

Mario Cerqueira: En rellenos sanitarios no se tienen pruebas de condiciones de biodegradación. Pero comparado con el plástico normal y bajo condiciones de presencia de Oxígeno, puede haber una mayor biodegradación. Se estima pueda ir de 10 a 20 años.

Carolina Jiménez Peña: ¿Cuál es la competencia del Ecovio® en el mercado?

Mario Cerqueira: En el mercado hay competencia, pero sólo de PLA. Muchos fabricantes usan nuestros productos para sus propios materiales. Se debe tener cuidado de educar a las personas sobre los polímeros oxodegradables. Estos se venden como amigables con el medio ambiente, pero en realidad solo se desintegran en fragmentos del polímero, PE, y se vuelve polvo. Ese polvo es PE, y se demora el mismo tiempo en degradarse que el PE normal.

Carolina Jiménez Peña: ¿Cuáles son los grados de Ecovio® recomendados para vasos y botellas?

Mario Cerqueira: Para el proceso de termoformado, para hacer vasos, se recomienda el Ecovio® T2308 y para el proceso de blow molding, para hacer botellas, se recomienda el Ecovio® F2224.

Carolina Jiménez Peña: Si quisiera almacenar agua en botellas de Ecovio® o en vasos, ¿me serviría con respecto a la permeabilidad?

Mario Cerqueira: Sí, no hay problema con la permeabilidad al agua. Para esta aplicación, el material tiene una barrera suficiente para almacenar agua. Y tiene una barrera adecuada al

oxígeno para esta aplicación también. Si se quisiera envasar otro alimento diferente, habría que evaluar mejor las barreras de acuerdo al alimento a trabajar.

(M. Cerqueira, entrevista personal, Enero 30 de 2017)

Carolina Jiménez Peña: Buenas tardes Mario, hoy quisiera hablar un poco del proceso del Ecovio® para termoformado y blow molding.

Mario Cerqueira: Hola Carolina, claro que sí.

Carolina Jiménez Peña: Si quisiera hacer vasos por termoformado o botellas por blow molding, ¿qué equipos necesitaría para hacerlos con Ecovio®?

Mario Cerqueira: Ese es precisamente el encanto del Ecovio®, no necesitas cambiar equipos, puedes utilizar las mismas extrusoras, termoformadoras o equipos de blow molding para hacer los productos que requieras hacer con Ecovio®. Los procesos son exactamente iguales, lo único que varía es la temperatura de proceso.

Carolina Jiménez Peña: ¿Qué temperatura de proceso recomiendas utilizar?

Mario Cerqueira: Debe usarse una temperatura de 160°C a 200°C. Esto incluso es una ventaja, ya que es una temperatura mucho menor que la utilizada para procesar otras resinas como el PET o el PP. En esos casos se superan los 200°C. Desde este punto, el Ecovio® ya empieza a generar ahorros de energía en el proceso, además de generar beneficios en su disposición, si se compara con los plásticos tradicionales, puesto que es 100% compostable.

Entrevista a Gonzalo Oñate, experto en Marketing y toma de decisiones de los consumidores, Universidad de La Sabana, EICEA.

(G. Oñate, entrevista personal, Mayo 15 de 2017)

Carolina Jiménez Peña: Buenas tardes Gonzalo, quisiera hacerte unas preguntas sobre la toma de decisión de los consumidores.

Gonzalo Oñate: Buenas tardes Carolina, adelante.

Carolina Jiménez Peña: Como nos enseñaste en clase, el proceso de toma de decisión tiene varias etapas. Una cognitiva, una conativa, afectiva y activa. Estoy tratando de incluir el proceso de decisión expresado como la conciencia ambiental de las personas, lo que lleva a que actúen

de cierta forma frente a temas ambientales. En ese caso, ¿qué tipos de acciones medibles me sugieres estudiar para poder llegar a esa toma de decisión?

Gonzalo Oñate: En el aspecto cognitivo considero que es más un tema de informar al consumidor. De tener campañas que bombardeen al consumidor fuertemente en cuanto a temas ambientales. Eso ya se está haciendo y ya hay recorrido un camino largo en el tema que para el estudio que quieres hacer te favorece, puesto que ya el consumidor viene siendo sensibilizado desde la información de campañas como las de los pitillos y las tortugas marinas, para entender los impactos de los plásticos en el medio ambiente. Siendo así, yo me enfocaría en el aspecto afectivo/conativo y en el aspecto activo. ¿Qué acciones crees puedan relacionarse con estos aspectos? En el aspecto afectivo/conativo, puedes utilizar temas de interés público en conciencia ambiental o impactos en el medio ambiente.

Carolina Jiménez Peña: He leído artículos científicos que sugieren que, para el aspecto activo, es decir el que lleva al consumidor a actuar, en temas ambientales, son acciones que requieran poco esfuerzo y se vea el resultado, como el reciclaje y la separación de residuos. ¿Crees que esto pueda servir?

Gonzalo Oñate: Sí claro. Es justamente la unión del interés con acciones de bajo esfuerzo que generen sensación de haber aportado, las que llevan al consumidor a actuar en temas de toma de decisión, ya sea en temas ambientales o comerciales.

Carolina Jiménez Peña: En tu experiencia, cuál crees que debería ser el peso del factor afectivo/conativo y del factor activo a la hora de influenciar la toma de decisión y llevar al consumidor a actuar?

Gonzalo Oñate: Lo que más pesa es el factor afectivo/conativo, la parte emocional que despierta el interés de las personas y que mueve su conciencia y parte afectiva. Si se hace bien el trabajo en este aspecto, luego la parte activa, aunque es importante también, pasa a un segundo plano. Yo creo que el factor afectivo/conativo debe pesar el 70% y el activo el 30%.