MODELO DE SIMULACIÓN DINÁMICO PARA EVALUAR LA SUSTENTABILIDAD DE UN PARQUE INDUSTRIAL ECOEFICIENTE EN SAN BENITO LOCALIDAD TUNJUELITO (BOGOTÁ D.C.)

NATHALY SUÁREZ CALDERÓN

Ingeniera Industrial

Tesis de grado para optar por el Título de Magister en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental

Director:

JULIO EDUARDO BELTRÁN VARGAS

Dr. en Ciencias - Biología

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

MAESTRÍA EN DESARROLLO SUSTENTABLE Y GESTIÓN AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C., 2022

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Bogotá D.C., 2022

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS 10
RESUMEN 11
INTRODUCCIÓN 12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 13
2. JUSTIFICACIÓN 16
3. OBJETIVOS 18
3.1. OBJETIVO GENERAL 18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18
4. MARCO TEÓRICO 19
4.1. MODELACIÓN DINÁMICA 19
4.2. EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD CON ENFOQUE DE DINÁMICA DE SISTEMAS 21
4.3. CONTEXTO NACIONAL PARQUES ECO-INDUSTRIALES - EIP 27
4.3.1. CONTEXTO INTERNACIONAL 27
4.3.2. EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD PARQUES ECO-INDUSTRIALES (EIP) 28
5. METODOLOGÍA 30
5.1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN – INDUSTRIA DE CURTIEMBRES DE SAN BENITO 30
5.2. DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN 37
5.2.1. Metodología objetivo 1. 38
5.2.2. Metodología objetivo 2. 38
5.2.2.1. Caracterización de la percepción social. 38
5.2.2.2. Construcción del diagrama causal 40
5.2.2.3. Diagnóstico del sistema. 40
5.2.2.4. Construcción del diagrama de Forrester 41
5.2.2.5. Simulación del modelo 41
5.2.2.6. Verificación del modelo 42
5.2.3. Metodología objetivo 3. 42
5.2.3.1. Generación del escenario PIESB 42
5.2.3.2. Evaluación de resultados y comparación con el sistema actual 43
5.2.3.3. Formulación de recomendaciones de gestión del PIESB 43
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 44

6.1. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES SEGÚN REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 44
6.1.1. Revisión gestión de residuos 44
6.1.1.1. Variables de nivel 48
6.1.1.2. Variables de flujo 49
6.1.1.3. Variables auxiliares 50
6.1.2. Revisión evaluación de sustentabilidad en procesos industriales 51
6.1.3. Revisión percepción social de la sustentabilidad de procesos industriales 52
6.1.4. Resultados y análisis general. 54
6.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DINÁMICO 58
6.2.1. Encuesta semiestructurada 58
6.2.2. Construcción del diagrama Causal 60
6.2.3. Diagnóstico del sistema 62
6.2.3.1. PIB 62
6.2.3.2. Demanda de cuero 63
6.2.3.2.1. Nivel: Cuero para calzado 63
6.2.3.2.1.1. Flujo: Comportamiento calzado 64
6.2.3.2.2. Nivel: Cuero para marroquinería y manufacturas en cuero 67
6.2.3.2.2.1. Flujo: Comportamiento marroquinería y otras manufacturas 68
6.2.3.3. Nivel: Producción de la industria 71
6.2.3.3.1. Flujo: Comportamiento de la producción de la industria 72
6.2.3.3.2. Auxiliar: Crecimiento industrial 72
6.2.3.4. Auxiliar: Ventas 73
6.2.3.5. Índice: Capital hecho por el hombre (KM) 74
6.2.3.6. Auxiliar: Demanda de agua de la industria 75
6.2.3.7. Auxiliar: Cantidad de vertimientos generados 75
6.2.3.8. Auxiliar: Requisitos de calidad 76
6.2.3.9. Auxiliar: Carga contaminante 76
6.2.3.10. Auxiliar: Tratamientos de agua 76
6.2.3.11. Auxiliar: Cantidad de reducción de carga contaminante 77
6.2.3.12. Índice: Calidad del agua 77
6.2.3.13. Índice: Recursos Naturales KN 78
6.2.3.14. Variables relativas al escenario PIESB 79
6.2.3.15. Variables relativas a la percepción social 79

6.2.3.16. Mejora de variables del capital en escenario PIESB 80
6.2.3.17. Índice de Sustentabilidad 81
6.2.4. Construcción del diagrama de Forrester 81
6.2.5. Validación de comportamiento del modelo 83
6.2.6. Resultados del modelo 88
6.2.7. Análisis de sensibilidad del sistema actual 98
6.3. FORMULACIÓN DE RECOMENDACIONES DE GESTIÓN MEDIANTE LA GENERACIÓN DEL ESCENARIO PIESB 100
6.3.1. Generación del escenario PIESB 100
6.3.2. Comparación del sistema actual con el escenario del PIESB 107
6.3.3. Formulación de recomendaciones de gestión del PIESB 111
7. CONCLUSIONES 114
8. BIBLIOGRAFÍA 117
9. ANEXO 1. Metodología de las revisiones bibliográficas 126
9.1. Revisión bibliográfica gestión de residuos 126
9.2. Revisión bibliográfica sustentabilidad industrial 128
9.3. Revisión bibliográfica percepción social en la sustentabilidad de los procesos industriales 133
9.4. Autores de referencia para cada variable seleccionada 137
10. ANEXO 2. Encuesta semiestructurada de percepción 141
11. ANEXO 3. Normatividad Vigente Año 2021 146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura Marco Teórico. Fuente: Elaboración Propia. 19
Figura 2. Localidad de Tunjuelito. Fuentes: (Alcaldía Local de Tunjuelito, 2016; Veeduría Distrital, 2017) 30
Figura 3. Ubicación Barrio San Benito. Fuente: (Google Earth, 2021) 31
Figura 4. Cantidad de artículos escogidos por año de publicación. Elaboración propia. 45
Figura 5. Ubicación geográfica de las áreas de aplicación de los modelos de simulación analizados. Fuente: Elaboración propia. 46
Figura 6. Cantidad de variables de nivel nuevas por año de publicación. Elaboración propia. 48
Figura 7. Cantidad de variables de flujo nuevas por año de publicación. Fuente: Elaboración propia. 50
Figura 8. Cantidad de variables auxiliares nuevas por año de publicación. Fuente: Elaboración propia. 51
Figura 9. Modelo conceptual de variables escogidas según las dimensiones de la sustentabilidad. Elaboración propia. 57
Figura 10. Diagrama causal para la evaluación de sustentabilidad de la industria de curtiembres. Fuente: Elaboración Propia. 61
Figura 11. Función de densidad de probabilidad uniforme en la variable PIB. Elaboración propia. 62
Figura 12. Variación porcentual de la producción bruta de calzado en Bogotá D.C. Elaboración propia. Fuente DANE. 66
Figura 13. Función de densidad de probabilidad normal en la variable “% variación demanda calzado”. Elaboración propia. 67
Figura 14. Variación porcentual de la producción nacional de los productos de marroquinería y otras manufacturas en cuero. Elaboración propia. Fuente DANE. 70
Figura 15. Función de densidad de probabilidad normal en la variable “% variación demanda de marroquinería y manufacturas en cuero”. Elaboración propia 70
Figura 16. Variación porcentual de la producción nacional de cuero en Bogotá. Elaboración propia. Fuente DANE. 72
Figura 17. Función de densidad de probabilidad normal en el crecimiento industrial del cuero. Elaboración propia. 73
Figura 18. Diagrama de Forrester para la evaluación de sustentabilidad de la industria de curtiembres. Fuente: Elaboración Propia. 82
Figura 19. Gráfico de sensibilidad y valores históricos de DBO mg/año. Elaboración propia. 86
Figura 20. Gráfico de sensibilidad y valores históricos de DQO mg/año. Elaboración propia. 87
Figura 21. Gráfico de sensibilidad y valores históricos de SST mg/año. Elaboración propia. 87
Figura 22. Comportamiento del índice de sustentabilidad. Elaboración propia. 88
Figura 23. Comportamiento del índice de sustentabilidad y de los capitales KM, KN, KH y KS. Elaboración propia. 89
Figura 24. Comportamiento del capital hecho por el hombre (KM). Elaboración propia. 91
Figura 25. Comportamiento de la oferta-demanda de la industria. Elaboración propia. 92
Figura 26. Comportamiento de la producción de cuero, la generación de cargas contaminantes de Cromo, DBO, DQO y SST y el crecimiento industrial. Elaboración propia. 93
Figura 27. Comportamiento de la calidad del agua, del interés en sustentabilidad por parte de las empresas y de los tratamientos de agua. Elaboración propia. 95
Figura 28. Comportamiento de la percepción del impacto ambiental y de la presión para reducir la contaminación. Elaboración propia. 96

Figura 29. Percepción social de la responsabilidad del problema medioambiental. Elaboración propia. ... 96
Figura 30. Percepción social de la generación de empleo por parte de la industria. Elaboración propia. ... 97
Figura 31. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con el parámetro % variación demanda calzado. Elaboración propia. ... 99
Figura 32. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con el parámetro % variación demanda marroquinería. Elaboración propia. ... 99
Figura 33. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con los parámetros de % de reducción de carga contaminante para DBO, DQO y SST. Elaboración propia. ... 102
Figura 34. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con mejora en percepción de KS. Elaboración propia. ... 103
Figura 35. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con mejora en percepción de KH. Elaboración propia. ... 103
Figura 36. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con mejora en percepción de KN. Elaboración propia. ... 103
Figura 37. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con mejora en percepción de KH, KS y KN. Elaboración propia. ... 104
Figura 38. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con todos los parámetros. Elaboración propia. ... 105
Figura 39. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con la demora en la implementación del PIESB. Elaboración propia. ... 106
Figura 40. Comparación del comportamiento del Índice de Sustentabilidad bajo las condiciones del sistema actual y las condiciones del escenario PIESB. Elaboración propia. ... 107
Figura 41. Comparación del comportamiento de la calidad del agua bajo las condiciones del sistema actual y las condiciones del escenario PIESB. Elaboración propia. ... 110
Figura 42. Documentos por año publicados entre 2008 y 2018. Fuente: ScienceDirect, Scopus, SpringerLink y Google Scholar. Elaboración propia. ... 127
Figura 43. Documentos por año publicados entre 2008 y 2020. Fuente: ScienceDirect, SpringerLink y Google Scholar. Elaboración propia. ... 129
Figura 44. Diagrama causal para la evaluación de sustentabilidad de ecosistemas industriales. Fuente:(Mota-López et al., 2018). ... 133
Figura 45. Documentos por año publicados entre 2008 y 2020. Fuente: ScienceDirect, SpringerLink, Scopus y Google Scholar. Elaboración propia. ... 134
Figura 46. Edad habitantes encuestados San Benito. Fuente: Google Forms. ... 143
Figura 47. Género habitantes encuestados San Benito. Fuente: Google Forms. ... 143
Figura 48. Ocupación habitantes encuestados San Benito. Fuente: Google Forms. ... 143
Figura 49. Proporción de habitantes de San Benito que trabajan en curtiembres. Fuente: Google Forms. ... 144
Figura 50. Nivel educativo habitantes encuestados San Benito. Fuente: Google Forms. ... 144
Figura 51. Lugar de Nacimiento de los habitantes encuestados de San Benito. Elaboración propia. ... 144
Figura 52. Confirmación de que el encuestado vive en San Benito. Fuente: Google Forms. ... 145
Figura 53. Cantidad de personas por tiempo en años de residencia en San Benito. Elaboración propia. ... 145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Impactos en Sustentabilidad por Ámbito. Elaboración propia. 29
Tabla 2. Características básicas de la industria de curtiembres en San Benito. Fuente: (Ambiente, 2007). 32
Tabla 3. Diseño Metodológico. Elaboración propia. 37
Tabla 4. Metodología selección de categorías. Fuente: propia basada en (Zafra-Mejía et al., 2017) 44
Tabla 5. Publicaciones por año, según el área de aplicación de los modelos de simulación. Elaboración propia. 45
Tabla 6. Ubicación geográfica según área de aplicación del modelo de simulación. Elaboración propia. 47
Tabla 7. Variables de nivel representativas. Elaboración propia. 48
Tabla 8. Tendencias de variables por año en gestión de residuos. Elaboración propia. 48
Tabla 9. Variables de flujo representativas. Elaboración propia. 49
Tabla 10. Variables auxiliares representativas. Elaboración propia. 50
Tabla 11. Metodología selección de categorías. Fuente: propia basada en (Zafra-Mejía et al., 2017) 52
Tabla 12. Variables escogidas dentro del modelo por su frecuencia de citación. Elaboración propia. 55
Tabla 13. Preguntas de la encuesta percepción social – categoría información general. Elaboración propia. 58
Tabla 14. Preguntas de la encuesta percepción social – categoría capital recursos naturales (KN). Elaboración propia. 58
Tabla 15. Preguntas de la encuesta percepción social – categoría capital social (KS). Elaboración propia. 59
Tabla 16. Preguntas de la encuesta percepción social – categoría capital recursos naturales (KN). Elaboración propia. 59
Tabla 17. Pregunta de la encuesta percepción social – categoría percepción del parque industrial eco-eficiente en San Benito, conforme los capitales. Elaboración propia. 60
Tabla 18. PIB – Producto Interno Bruto nacional anual. Elaboración propia. Fuente DANE. 62
Tabla 19. Producción Bruta para la fabricación de calzado. Elaboración propia. Fuente DANE. 66
Tabla 20. Código C.P.C y su descripción de los productos pertenecientes a marroquinería y otras manufacturas en cuero. Elaboración propia. Fuente DANE. 68
Tabla 21. Histórico de datos del valor de la producción nacional de los productos de marroquinería y otras manufacturas en cuero. Elaboración propia. Fuente DANE. 69
Tabla 22. Histórico de datos del valor de la producción nacional cuero curtido vacuno. Elaboración propia. Fuente DANE. 71
Tabla 23. Precio constante aproximado en miles de pesos por kilogramo. Elaboración propia. Fuente DANE. 74
Tabla 24. Valores iniciales y mejora por capital según la percepción social de los habitantes de San Benito. Elaboración propia. 80
Tabla 25. Histórico de carga DBO mg/año y Tn/año. Elaboración propia. Fuente SDA. 84
Tabla 26. Histórico de carga DQO mg/año y Tn/año. Elaboración propia. Fuente SDA. 85
Tabla 27. Histórico de carga SST mg/año. Elaboración propia. Fuente SDA. 85
Tabla 28. Correlación bilateral entre el Índice de Sustentabilidad (K) y el capital hecho por el hombre (KM). Elaboración propia. 90

Tabla 29. Correlación bilateral entre la cantidad de cuero vendido, la demanda y la producción. Elaboración propia. 93
Tabla 30. Valores mínimos de los parámetros para alcanzar sustentabilidad. Elaboración propia. 106
Tabla 31. Prueba de Shapiro-Wilk para corroborar normalidad en el comportamiento del Índice de Sustentabilidad bajo las condiciones del sistema actual y las condiciones del escenario PIESB. Elaboración propia. Software SPSS. 108
Tabla 32. Prueba de diferencia de medias relacionadas T-student para el comportamiento del Índice de Sustentabilidad bajo las condiciones del sistema actual versus las condiciones del escenario PIESB. Elaboración propia. Software SPSS. 109
Tabla 33. Objetivos por año de percepción social del impacto ambiental de las curtiembres de San Benito. Fuente: Elaboración propia. 112
Tabla 34. Objetivos por año de percepción social de los habitantes de San Benito, de las variables asociadas al capital social. Fuente: Elaboración propia. 113
Tabla 35. Objetivos por año de percepción social de los habitantes de San Benito, de las variables asociadas al capital humano. Fuente: Elaboración propia. 113
Tabla 36. Criterios escogidos por el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP). Fuente:(Halog, 2011). 130
Tabla 37. Variables para la evaluación de sustentabilidad para la toma de decisiones gubernamentales en biodiesel en Colombia. Fuente:(Espinoza et al., 2017). 130
Tabla 38. Variables diagrama causal evaluación de sustentabilidad de ecosistemas industriales. Fuente: (Mota-López et al., 2018). 131
Tabla 39. Artículos seleccionados percepción social. Fuente: Elaboración propia. 135
Tabla 40. Variables generadas de las preguntas de las encuestas. Fuente: Elaboración propia. . 136
Tabla 41. Frecuencia en documentos de las variables. Fuente: Elaboración propia. 136
Tabla 42. Autores por variables seleccionadas. Elaboración propia. 137

AGRADECIMIENTOS

Agradezco inmensamente a mi director de tesis Ph.D. Julio Eduardo Beltrán Vargas, por su conocimiento, apoyo, guía y paciencia al llevar a cabo la presente investigación; a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y sus docentes, por permitirme desarrollar este nuevo reto, tal y como me había acogido anteriormente para culminar mi pregrado.

A mi familia, quienes me han apoyado en todas las etapas de mi vida, especialmente en las académicas, con comprensión y brindándome consejos para motivarme a seguir adelante.

A la empresa donde trabajo, por apoyar la realización de este postgrado y a mis compañeros de estudios, quienes con las palabras de aliento y fraternidad fueron un soporte importante durante el transcurso de la maestría.

RESUMEN

La industria curtidora, atraída por la disponibilidad del recurso hídrico del río Tunjuelo, ha sido una de las principales causas de impactos negativos sobre los aspectos ambiental y social en la ciudad de Bogotá. Ambientalmente, genera un incremento en los parámetros pH, DBO, DQO y SST del Tunjuelo, debido a las condiciones físicas, químicas y biológicas de los vertimientos; olores ofensivos y emisión de sulfuro, que afectan directamente a la salud humana. Así mismo, dentro de las viviendas se encuentran las curtiembres, lo que ocasiona exposición de niños y personas ajenas a la actividad industrial a las sustancias químicas.

Las quejas de la ciudadanía ante esta problemática generaron una respuesta del Estado en el año 2014, brindando como solución la creación del Parque Industrial Ecoeficiente San Benito (PIESB).

En virtud de lo anterior, la presente investigación realizó un modelo dinámico socio-ambiental con el fin de evaluar la sustentabilidad en la transición de la industria de curtiembres al Parque Industrial Ecoeficiente de San Benito, buscando incrementar las fortalezas del sector curtidor en la ciudad y mitigar las debilidades que enfrenta actualmente la población de San Benito, al permitir elaborar estrategias y lineamientos de implementación del PIESB.

Palabras clave: Sustentabilidad, dinámica de sistemas, industria curtidora, San Benito, vertimientos, Parque Industrial Ecoeficiente.

INTRODUCCIÓN

En el barrio San Benito (Bogotá D.C.), se localiza un clúster de la industria curtidora, por su ubicación estratégica dentro de la cadena de suministro del cuero (Económico, 2010). Sin embargo, la producción de cuero con técnicas artesanales en donde la industria es compartida con la vivienda (Vásquez Daza, 2012), como se realiza en San Benito, genera impactos negativos en el ambiente, sobre todo en el recurso hídrico al elevar los parámetros pH, DBO, DQO y SST (Ministerio de Ambiente, 2006). Así pues, mediante fallo del Consejo de Estado, se estableció como solución a la problemática ambiental y social que ocasionan las curtiembres, la generación del Parque Industrial Ecoeficiente en San Benito (Estado, 2014); no obstante, no se especificaron los lineamientos bajo los cuales se debería implementar este parque.

Por consiguiente, el objetivo de la presente investigación es desarrollar un modelo de simulación dinámica socio-ambiental con el fin de evaluar la sustentabilidad en la transición de la industria de curtiembres al Parque Industrial Ecoeficiente de San Benito, con un horizonte temporal de 15 años.

Para lograr el objetivo, es necesario conceptualizar la dinámica de la situación actual mediante un diagrama causal, seguido de estructurar el diagrama de Forrester mediante los diferentes algoritmos producto del análisis de datos de entrada. Posteriormente se procede a verificar y validar el modelo, con el fin de tener certeza de que se está simulando una situación cercana a la realidad.

Finalmente, se contempla y evalúa el escenario del PIESB, mediante las variables e indicadores de sustentabilidad, con el fin de establecer los lineamientos y las estrategias bajo las cuales se debe implementar el PIESB para lograr una sustentabilidad en San Benito, fortaleciendo las ventajas económicas del sector y mitigando los impactos negativos a la salud de la población: desmayos, accidentes fatales, exposición a olores ofensivos y a sustancias químicas (Ministerio de

Ambiente, 2006), enfermedades crónicas de las vías respiratorias, neumonía, enfermedades cardiopulmonares y tumores y enfermedades dermatológicas (Tunjuelito, 2010) y al ambiente en el recurso hídrico: disminución en la disponibilidad del agua para el consumo humano y valores elevados en los parámetros DBO, DQO y SST (DAMA, 2004), gran cantidad de sedimentos (DAMA, 2004) y variación en el pH que afecta la vida acuática (Ministerio de Ambiente, 2006); en el componente atmosférico: olores ofensivos y emisión de sulfuro (Ministerio de Ambiente, 2006); y en el componente suelo: disminución de producción agrícola y aceleración de la erosión (Ministerio de Ambiente, 2006).

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El río Tunjuelo es el más largo del sistema hídrico de Bogotá; por tanto, es un importante tributario del río Bogotá (Preciado Beltrán et al., 2012). Por su parte, su tramo III se encuentra dentro de la localidad sexta llamada “Tunjuelito” y es afectado por mataderos municipales, lo cual se convirtió en un atractivo para los curtidores de cueros de la ciudad y sus alrededores (Vásquez Daza, 2012), convirtiendo a Bogotá, específicamente el barrio San Benito, en el principal productor de cueros en Colombia (Ministerio de Ambiente, 2006). Estas prácticas industriales conllevan a generar impactos negativos tanto en el ambiente como en el aspecto social.

En primera instancia, los daños ambientales afectan principalmente al recurso hídrico, al componente atmosférico y al componente suelo. Dentro del componente hídrico, se pueden identificar dos aspectos importantes: una disminución en la disponibilidad de agua para consumo humano y cambios en la calidad del recurso hídrico afectando sus condiciones físicas, químicas y biológicas por los vertimientos ocasionados por las aguas residuales producto de la actividad industrial. Dichos impactos por vertimientos industriales ocasionan unos valores elevados en los parámetros de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno) y SST (Sólidos Suspendidos Totales); así mismo, generan una gran cantidad de sedimentos, que conlleva a que el flujo hidráulico de los sistemas

colectores de alcantarillado se vea afectado (DAMA, 2004). Adicionalmente, las altas variaciones del pH afectan la vida acuática (Ministerio de Ambiente, 2006).

De otra parte, en el aire se evidencian olores ofensivos debido a la descomposición de la materia orgánica y las grasas del descarne, así como la emisión de sulfuro de las aguas residuales (Ministerio de Ambiente, 2006). En el suelo, se disminuye la producción agrícola y se acelera la erosión (Ministerio de Ambiente, 2006).

En segunda instancia, se generan daños sociales en la medida en que afectan a la salud humana, ya que los residuos con sulfuro son potenciales formadores de gas sulfhídrico que muchas veces provocan desmayos y accidentes fatales (Ministerio de Ambiente, 2006). Sin embargo, el problema principal es que las curtiembres se encuentran dentro de la misma vivienda; lo que genera que la población residente y especialmente la infantil, se encuentre expuesta a olores ofensivos y a las sustancias químicas mal empleadas por insuficiencia en seguridad industrial. Así mismo, se han evidenciado enfermedades crónicas de las vías respiratorias, neumonía, enfermedades cardiopulmonares y tumores y enfermedades dermatológicas además de problemas de vectores y roedores (Tunjuelito, 2010)

Por otro lado, en el ámbito socio-cultural la calidad de vida se ve afectada en gran medida, debido a que la población de esta localidad se caracteriza por un alto nivel de analfabetismo, por niveles de pobreza en los cuales el único ingreso familiar es el de las curtiembres o el de trabajos informales y por ser, en su mayoría, personas desplazadas por la violencia que se asentaron en esta zona (Ambiente, 2007).

En el aspecto institucional, el Consejo de Estado ordenó al Distrito y a otras entidades a implementar un Parque Industrial Ecoeficiente en San Benito (PIESB), para dar solución a la problemática de este tramo, específicamente para el barrio San Benito. Sin embargo, la idea del PIESB es vaga y dentro del fallo no se contemplan acciones específicas para la exitosa implementación del mismo. Por tanto, preocupa que este PIESB sí sea la solución idónea que conlleve a una mejora en el bienestar de vida de los habitantes de San Benito (Estado, 2014). Lo anterior, debido a que los controles han sido insuficientes evidenciándose una degradación

ambiental en el tramo y, aunque han generado sellamientos y sanciones a la industria, esto afecta directamente la generación de empleo a las familias y a la calidad de vida de la población por disminución de sus ingresos (Ambiente, 2007).

Otro punto es el referente al ámbito académico, evidenciándose que existe una gran bibliografía en términos de la implementación y evaluación de resultados de los parques eco-industriales, especialmente en China por ser éste uno de los países que ha implementado parques eco-industriales para alcanzar una transformación verde (Zeng et al., 2021). No obstante, aun cuando se ha realizado una evaluación en cuanto a impactos ambientales y económicos, utilizando herramientas de optimización no linear basado en redes alimentarias (Fouladi et al., 2021; Genc et al., 2020), optimización multi-objetivo (Valenzuela-Venegas et al., 2020), dinámica de sistemas con el enfoque ambiente-economía-energía (3Es: Environment - Economy - Energy) (Xu et al., 2017), redes de intercambio de agua con entradas ciegas dentro de la teoría de juegos (Salas et al., 2020); el aspecto social ha sido dejado de lado, debido a que los estándares de implementación de los parques eco-industriales se han centrado en indicadores de orden ambiental y económico buscando incrementar la competitividad (Hong & Gasparatos, 2020).

Dado lo anterior, si bien en términos de sustentabilidad urbana ya existe un modelo dinámico que integra todos los aspectos para evaluarla (Tan et al., 2018), para los parques eco-industriales aún no existe un modelo holístico que permita evaluar sustentabilidad, debido a que los existentes no contemplan todos los subsistemas necesarios para ello.

Por lo tanto, la pregunta de investigación que se pretende resolver es: **¿Es posible modelar escenarios de gestión ambiental estimando sustentabilidad para generar recomendaciones de manejo en el PIESB, usando dinámica de sistemas?**

2. JUSTIFICACIÓN

Para la mitigación del impacto ambiental negativo de las industrias curtidoras, el Consejo de Estado emitió fallo el 28 de marzo de 2014 con expediente No. 25000-23-27-000-2001-0479-01, en donde ordenó al Distrito y a otras entidades la creación del PIESB. Sin embargo, debido a que esta determinación genera inquietudes con respecto a su efectividad, se hace necesario utilizar herramientas holísticas como la dinámica de sistemas, con el fin de verificar si a la larga, estas nuevas políticas contribuyen a la rehabilitación integral del tramo III de la cuenca y/o si es necesario llevar a cabo otras estrategias adicionales a las ya planteadas.

Económicamente, implementar una evaluación de la sustentabilidad a la que puede alcanzar el PIESB, permite evidenciar en qué medida se incrementan las fortalezas que ya posee el sector, especialmente la de ser considerado como una aglomeración para la integración regional, representando la mayor parte de producción nacional y generando empleo a las familias que conforman las empresas medianas y pequeñas (Económico, 2010).

En los ámbitos social y ambiental, la mencionada evaluación permite evidenciar en qué medida se mitigan las debilidades de la población en cuanto a sensibilización de seguridad, conciencia ambiental y bienestar de los habitantes de la zona en general; ya que hasta la fecha, los esfuerzos de los entes gubernamentales han sido insuficientes en mejorar estos aspectos (Planeación, 2020; Vásquez Daza, 2012).

Finalmente, en el ámbito académico bajo el marco del desarrollo sustentable, la presente investigación contribuye a aportar una visión integral de la posibilidad de mejora que ofrece el PIESB a la situación en la que se encuentra la población de San Benito, haciendo uso de la modelación dinámica con el fin de abarcar un análisis interdisciplinar de la interrelación que los subsistemas implicados allí poseen (ambiental, social, económico y de recursos). Lo anterior, debido a que entre los enfoques cuantitativos, la dinámica de sistemas es uno de los métodos más apropiados para anticiparse al comportamiento futuro de los sistemas complejos del

mundo real, ya que éstos tienen un alto nivel de retroalimentación / reacción / interconexión entre sus componentes. En consecuencia, esta herramienta posee una estructura circular que da como resultado superar la debilidad de modelos lineales como la regresión (Feng et al., 2013), haciendo posible simular la retroalimentación entre variables, identificar la demora en las relaciones entre variables (Jokar & Mokhtar, 2018), comprender el impacto de varios factores en los objetivos definidos en un sistema y mejorar la precisión de los resultados de la evaluación, proporcionando información útil para la toma de decisiones (Tan et al., 2018).

Dado lo anterior, se hace necesario desarrollar un modelo de simulación que determine la rehabilitación y sustentabilidad socio-ambiental de un tramo o subtramo de una cuenca hidrográfica, mediante un parque industrial eco-eficiente, en un horizonte temporal de 15 años según el modelo de referencia (Tan et al., 2018); considerando que a la fecha no existe un modelo con estos componentes.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo de simulación dinámico con el fin de evaluar la sustentabilidad en la transición de las curtiembres al Parque Industrial Ecoeficiente de San Benito, con un horizonte temporal de 15 años.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.2.1. Determinar el estado del conocimiento mediante la revisión de artículos científicos a nivel mundial en gestión de residuos, percepción social y modelación dinámica aplicadas a la evaluación de sustentabilidad de los procesos industriales, para identificar variables endógenas.

3.2.2. Construir un modelo de simulación dinámico para estimar la sustentabilidad en la transición de la industria de curtiembres al Parque Industrial Ecoeficiente de San Benito, con un horizonte temporal de 15 años, con base a los resultados del objetivo 1.

3.2.3. Comparar escenarios para estimar la sustentabilidad y proponer recomendaciones de gestión del Parque Industrial Ecoeficiente de San Benito.

4. MARCO TEÓRICO

El presente trabajo posee tres ejes fundamentales para su posterior desarrollo: el primero es la modelación dinámica (Aracil & Gordillo, 1997; Méndez Giraldo, 2012), el segundo es la sustentabilidad de acuerdo con la ecuación desarrollada por Pearce y Atkinson en el año 1998 (Pearce & Atkinson, 1998) y finalmente, la concepción de parques eco-industriales (ONUDI et al., 2019). Así las cosas, la interrelación entre los mencionados ejes, dan cuenta de las bases teóricas necesarias para la consecución del objetivo principal de este documento, de acuerdo con la figura 1.

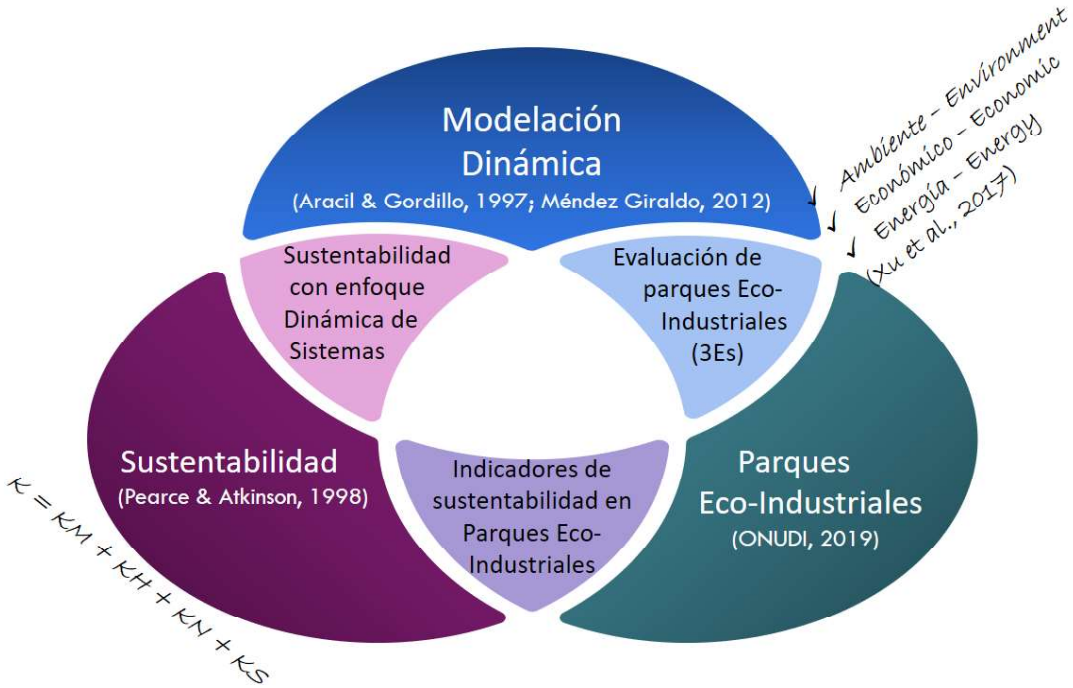


Figura 1. Estructura Marco Teórico. Fuente: Elaboración Propia.

4.1. MODELACIÓN DINÁMICA

La dinámica de sistemas surge como un desarrollo de la filosofía que soporta la metodología de la dinámica industrial. La primera filosofía se refiere a la estructura, la cual implica, además de los procesos productivos, las políticas, tradiciones y en general la cultura de la misma que afecta los procesos de decisión. Ello implica demoras, fuentes de amplificación y lazos de retroalimentación. La segunda filosofía

es la organizacional, entendiendo a la organización como un conjunto de redes de flujos comunes como personas, dinero, materiales, órdenes y equipos de capital y su integración a través del flujo de información. Para todo lo anterior, existen componentes como lo son variables auxiliares, variables de nivel, flujos positivos y negativos, demoras, tasas, etc. (Méndez Giraldo, 2012).

En sus inicios, la aplicabilidad de la dinámica de sistemas se limitaba a reducir la variabilidad de las líneas de producción considerando demandas estables. Hoy en día los campos de aplicación de esta técnica son muy amplios, van desde el modelado de aspectos teóricos como la dinámica social de Marx hasta la implantación de justicia y defensa nacional, pasando por los sistemas ecológicos y medioambientales en donde se ha aplicado tanto a problemas de dinámica a de poblaciones como de difusión de la contaminación. Adicional a ello, otro campo de aplicabilidad es el referente a los recursos energéticos planteando estrategias de utilización de estos recursos (Aracil & Gordillo, 1997).

La modelación en dinámica de sistemas es un enfoque innovador, que utiliza flujos, bucles de retroalimentación, variables auxiliares y stocks para evaluar la naturaleza dinámica de sistemas complejos de larga escala. Se inicia con el modelado conceptual, la cual es una herramienta cualitativa útil que puede ayudar a simplificar situaciones complejas. Con la ayuda de diagramas de flujo, es posible visualizar el problema y descubrir los flujos, sus relaciones, puntos de debilidad y fortaleza. Al aplicar el modelado conceptual podemos comenzar la parte inicial del modelado por computadora y, como resultado, lograr soluciones precisas (Taisch et al., 2013). Posteriormente, se analiza racionalmente el comportamiento de estos sistemas complejos mediante la representación de resultados fiables (Zhang et al., 2010). La ventaja relativa de un modelo de dinámica de sistemas es la interconexión a través de varios sectores de una estructura de proceso que facilita el análisis y la gestión de sistemas adaptativos complejos (Chaerul et al., 2008).

La modelación dinámica ha sido aplicada en varios sistemas, desde su concepción en 1960, incluyendo negocios (Gregoriades & Karakostas, 2004), ecológicos (Saysel & Barlas, 2001; Shi & Gill, 2005), socioeconómicos (Wei et al., 2012), agriculturales (Li et al., 2012), políticos (Thompson & Bank, 2010) y ambientales

(Guan et al., 2011; Güneralp & Barlas, 2003; Karavezyris et al., 2002; Rehan et al., 2011; Stave, 2003). Dentro del campo de la gestión de residuos, Dyson y Chang (Dyson & Chang, 2005) desarrollaron un modelo de dinámica de sistemas para predecir la generación de residuos sólidos en un entorno urbano con una economía de rápido crecimiento. Karavezyris et al (Karavezyris et al., 2002) empleó una metodología para tratar variables cualitativas, tales como la participación voluntaria en el reciclaje, y datos cuantitativos. Zhao et al (Zhao et al., 2011) presentó un modelo de dinámica de sistemas para evaluar la influencia de las diferentes políticas y entornos económicos en la gestión de residuos y demolición. Kollikkathara et al (Kollikkathara et al., 2010) propuso un modelo de dinámica de sistemas para abordar varios temas interrelacionados, como el impacto ambiental, la capacidad del relleno sanitario y los gastos financieros. Long et al (Long et al., 2012) utilizó un modelo de dinámica de sistemas para pronosticar la generación de desechos plásticos municipales en diferentes áreas de Beijing. Adicionalmente, los modelos de dinámica de sistemas que se enfocan en políticas públicas, han sido desarrollados para demostrar cómo la dinámica de sistemas es particularmente adecuada para ayudar a entender los sistemas de gestión de residuos complejos, descubriendo que su comportamiento es frecuentemente contrario a la intuición y explorando los efectos de diferentes políticas y opciones de gestión (Di Nola et al., 2018); como por ejemplo, el modelo para analizar políticas de diseño ecológico en Letonia (Dace et al., 2014).

4.2. EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD CON ENFOQUE DE DINÁMICA DE SISTEMAS

Es posible definir a la sostenibilidad débil como aquella que pretende optimizar la siguiente ecuación, logrando un equilibrio entre los diferentes capitales (Pearce & Atkinson, 1998):

$dK/dt \geq 0$, donde $K = KM + KH + KN + KS$ (Pearce & Atkinson, 1998)

En donde:
K = Capital (Pearce & Atkinson, 1998)
KM = Capital hecho por el hombre mediante bienes producidos (Pearce & Atkinson, 1998)
KH = Capital humano (Pearce & Atkinson, 1998)
KN = Recursos naturales (Pearce & Atkinson, 1998)
KS = Interacciones entre las personas, instituciones y el gobierno (Pearce & Atkinson, 1998)

En cuanto a los modelos de dinámica de sistemas desarrollados bajo la teoría de sustentabilidad débil, en el contexto nacional, dentro de la revisión de literatura en bases de datos tales como Science Direct y Springer Link, existe únicamente un estudio relacionado con la evaluación de sustentabilidad para apoyar la política gubernamental de biodisel en Colombia (Espinoza et al., 2017). En este estudio se establece que el enfoque tradicional de evaluación de la sostenibilidad denominado Triple Bottom Line (TBL) se ha utilizado ampliamente para considerar las dimensiones ambientales, sociales y económicas. Sin embargo, allí establecen que un estudio reciente propuso un marco para ampliar estas dimensiones, adicionando la política y tecnológica (Bautista et al., 2016). Por tanto, Espinoza considera a las cinco dimensiones con una importancia similar, por lo que ni el capital natural ni el capital social se garantizan dentro de la evaluación, lo que clasifica a este estudio como una evaluación de sustentabilidad débil.

En el contexto internacional, existe diversidad de modelos dinámicos en donde se evalúa sustentabilidad débil. Para el año 2011, se efectuaron estudios orientados a la evaluación de sustentabilidad de la tecnología bioenergética en Sudáfrica, bajo un modelo denominado "Evaluación de la sustentabilidad de la tecnología bioenergética" (BIOTSA por sus siglas en inglés - Bioenergy Technology Sustainability Assessment) (Musango et al., 2011), dentro del cual se debe asegurar la percepción social y, en últimas, el capital social dentro de los indicadores de sustentabilidad; debido a que si las comunidades locales no ven ningún beneficio en el cultivo para la producción de biodiesel, entonces no estarían comprometidos

a convertir las tierras en cultivo de biodiesel. Adicionalmente, la población en la Provincia Oriental del Cabo considera que la tierra es su herencia (Musango et al., 2012).

En el año 2012, se realizó un estudio de evaluación de sustentabilidad en el desarrollo urbano residencial para la ciudad de Sttutgart (Xu & Coors, 2012), en donde siendo Z el indicador de sustentabilidad, según las cinco categorías determinadas para la evaluación de la sustentabilidad: fuerzas motrices, presión, estado, impacto y respuesta del enfoque DPSIR - (Driving Forces, Pressure, State, Impact, Response), es igual a la suma de los productos de los indicadores y el peso asignado por la escala de valores. Sin embargo, la ecuación de sustentabilidad no posee restricciones sobre si existe sustentabilidad siempre y cuando los indicadores ambientales o sociales sean mayores a cero, al contrario, lo que se hace es una estandarización de los indicadores positivos y negativos; por tanto, se considera evaluación de sustentabilidad débil. Posteriormente, en cuanto a desarrollo residencial, se efectuó un estudio relacionado con la planificación de vivienda para ciudadanos de bajos ingresos en Brasil (Musse et al., 2018); allí los autores fomentan la aplicación de nuevas tecnologías a viejos problemas sociales, pero no toman en cuenta el capital natural dentro de sus subsistemas; por consiguiente, también se considera como sustentabilidad débil.

Posteriormente, en 2013 se efectuó un estudio sobre producción sostenible, en donde la evaluación de sustentabilidad se realiza asegurando el capital natural mediante la formulación de políticas a nivel empresarial, luego asegura el capital humano a nivel de infraestructura mediante el diseño de sistema y por último, evalúa el capital físico mediante el diseño de procesos en el nivel operacional (Zhang et al., 2013)

Para el año 2015, se realizó un modelo de sustentabilidad en sistemas socio-ecológicos insulares - Caso Fuerteventura Islas Canarias en España (Banos-González et al., 2015). Este representa un reto en compatibilizar el desarrollo creciente del turismo, que es la principal fuerza motora del lugar con la gestión

sustentable de sus recursos naturales, altamente vulnerables debido a procesos como degradación de hábitats naturales que albergan especies endémicas y en peligro de extinción. Para este caso, el modelo pretende garantizar la concentración del hábitat del ave hubara o avutarda hubara, cuyo nombre científico es chlamydotis undulata; por tanto, no concibe sustentabilidad sin garantizar que su capital natural sea positivo. Adicionalmente, existe otro estudio sobre evaluación de sustentabilidad residencial en áreas protegidas, en Letonia, en donde se desarrolla un modelo basado en Google Earth, que pretende evaluar la sustentabilidad en áreas protegidas; por lo tanto, garantiza el capital natural, evaluando sustentabilidad fuerte. El modelo tiene un enfoque bio-económico relacionando la economía con la naturaleza y brindándole prioridad a la naturaleza (Majore et al., 2015).

Para este mismo año, se efectuó una investigación sobre sustentabilidad tecnológica, basado en el concepto de sustentabilidad débil; sin embargo, con diferentes dimensiones. Esto es, el Modelo de Aceptación Integrada y Evaluación de Sustentabilidad (IASAM por sus siglas en inglés - Integrated Acceptance and Sustainability Assessment Model) (Aizstrauta & Ginters, 2015; Aizstrauta et al., 2015), en donde se integra el concepto de sustentabilidad para cuatro flujos, los cuales juntos constituyen lo que se llama sustentabilidad tecnológica: gestión, calidad de tecnología, desarrollo de dominio y aceptación. El índice IASAM y el propuesto por los autores, en este caso IASAM2, se calcula bajo el enfoque de sustentabilidad débil, en donde no existe la restricción de que existe sustentabilidad siempre y cuando alguno de los flujos se encuentre mayor o igual a cero. Adicionalmente, se evalúa la sustentabilidad de cinco tecnologías: ZIP drive, servicios de paginación en internet, Nintendo Wii, buscador Firefox y el videojuego de rol multijugador de Blizzard Corporation, World of Warcraft (Aizstrauta & Ginters, 2017).

De otra parte, en el año 2016 se evaluó la sustentabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en Estados Unidos (Onat et al., 2016). Se basa en el enfoque Triple Botton Line - TBL tradicional para la evaluación de sustentabilidad, evaluando los indicadores ambientales, sociales y económicos con igual importancia y,

adicionalmente, parte del principio de la tecnología como solución a problemas de sustentabilidad, el cual se encuentra definido dentro de la sustentabilidad débil.

Continuando con la investigación, en el año 2017 se evaluó un modelo para la transición socio-técnica en el sector de electricidad (Moallemi et al., 2017). Allí considera a la sustentabilidad como bucles de política correctiva, en donde la reducción de emisiones y créditos de energía renovable, pueden mejorar el bienestar social; pero prioriza el bucle de inversión y el balance de demanda. No pretende asegurar ningún capital, sino mantener en equilibrio la inversión, demanda, el agotamiento de recursos, las políticas correctivas y los bucles de carga financiera; por tanto, se asume como sustentabilidad débil. Posteriormente, se realizó un estudio sobre la cadena de suministro de energía sostenible y renovable, en donde utiliza como herramienta el Life Cycle Assessment (LCA) o análisis de ciclo de vida, evaluando en términos de desarrollo tecnológico, cuál de las opciones de energía renovable es mejor; sin embargo, no garantiza ni el capital natural ni el social, dentro de sus supuestos ni sus fines.

De igual forma, para el año 2017, se realizó un modelo de producción y suministro de comida sustentables y resiliencia al cambio climático (Melkonyan et al., 2017). Este estudio se basa en el mapeo de sistemas participativos (PSM - Participatory Systems Mapping) y pretende asegurar la seguridad alimentaria no sólo en la producción sino evaluando estrategias que anteriormente han sido exitosas, en toda la cadena de suministro de comida, es decir, una logística sustentable. Debido a que se centra en una logística sustentable, este estudio no garantiza ni el capital natural ni social por encima de cero, ya que la seguridad alimentaria es únicamente una parte del capital social.

Pasando a otro tema, en cuanto a la sustentabilidad en procesos de urbanización o, también, de renovación urbana; en el año 2017 se realizó un modelo de renovación urbana sostenible en Hong Kong (Zheng et al., 2017). Lo anterior, debido a que las ciudades, especialmente las desarrolladas, se enfrentan constantemente a varios retos como decaimiento urbano, deterioro ambiental, falta de infraestructura, problemas sociales y declinación económica. La renovación o

regeneración urbana se hace parte dentro de la agenda de investigación, para solucionar los problemas descritos. Sin embargo, se evalúa sustentabilidad débil, debido a que el modelo considera que al decaer el indicador de sustentabilidad, se deben tomar políticas de rehabilitación, las cuales, según Rubio de Val, es un conjunto de estrategias que permiten detener el deterioro del tejido urbano y social y preservar sus valores patrimoniales, reforzando la cohesión social y favoreciendo la actividad económica (Rubio de Val, 2011). Es decir, que se pretende garantizar siempre sustentabilidad mediante el aseguramiento de los indicadores sociales, ya que la rehabilitación urbana se enfoca en incrementar el bienestar social.

En el año 2018, se realizaron estudios sobre la industria del cemento. Así, existe un modelo sobre la reducción de emisiones en CO2 en la industria de cemento, en donde se sustituyen los clínker (materia prima usada en la fabricación de cemento) por otros materiales cementosos como cenizas de carbón o escorias de alto horno, mitigando el CO2 (Jokar & Mokhtar, 2018), sin garantizar el capital natural o social. Adicionalmente, existe un modelo de evaluación de sustentabilidad, estableciendo conexiones (entrada-salida) entre la producción energética y las industrias de concreto en el Reino Unido (UK) (Millward-Hopkins et al., 2018). El modelo pretende evaluar la sustentabilidad de la recuperación de residuos de la producción energética en UK como insumo para la producción en la industria del cemento. Utiliza como base las metodologías de evaluación de impacto tales como: Life Cycle Assessment (LCA) o análisis de ciclo de vida, Análisis de Flujo de Material (MFA - Material Flow Analysis), Análisis Costo-Beneficio Ambiental (ECBA - Environmental Cost-Benefit Analysis) y Análisis de Entrada-Salida Ambientalmente Extendido (EEIOA - Environmentally Extended Input-Output Analysis). Sin embargo, propone una metodología en donde las evaluaciones individuales no sean clasificadas en torno a la categoría ambiental, social, económica o tecnológica, sino que propone cinco tipologías en las mediciones dentro de la modelación, integrando todas las categorías o dimensiones de la sustentabilidad.

Adicionalmente, para este mismo año surgió un estudio sobre la gestión sostenible de la cadena de suministro, en donde parte de la base de que los subsistemas social y económico tienen lugar dentro del subsistema ecológico, sin él no se podría llevar

a cabo la evaluación de los otros dos, asegurando el subsistema ecológico, es decir, el capital natural (Rebs et al., 2018).

Finalmente, en 2018 se realizó un modelo de desempeño de sustentabilidad en procesos de urbanización en China, en donde en orden de prioridad, inicia con el subsistema económico, luego social, luego ambiental y finalmente de recursos. Sin embargo, el modelo asume que la urbanización debería traer beneficios sociales en áreas de tratamiento médico, educación, salud y otros; es decir que existe sustentabilidad siempre y cuando el índice de sustentabilidad social sea positivo (Tan et al., 2018).

4.3. CONTEXTO NACIONAL PARQUES ECO-INDUSTRIALES - EIP

En Colombia, aun cuando el decreto 389 fue publicado en la ciudad de Bogotá en el año 2003, no fue sino hasta el mes de junio de 2019 cuando el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo – MINCIT publicó la noticia en donde informaron que con apoyo de Suiza, respaldo técnico de ONUDI y el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible – Minambiente, se lanzaría proyecto de economía circular para cuatro parques industriales piloto en el país: Malambo, en Barranquilla; la Zona Franca del Cauca, en Cali; la Zona Franca La Candelaria, en Cartagena; y la Zona Franca de Occidente, en Bogotá (MINCIT - Ministerio de Comercio, 2019). Hasta el momento ONUDI únicamente ha publicado que Colombia es uno de los países en los cuales implementarán parques eco-industriales piloto (ONUDI et al., 2019).

4.3.1. CONTEXTO INTERNACIONAL

El primer parque eco-industrial lo podemos encontrar en la localidad de Kalundborg, situada cerca de Copenhague (Dinamarca), ciudad que inició su actividad industrial en el año de 1972 y lideró la base para la cooperación entre compañías que ha nutrido la sinergia entre las empresas locales que promovieron la creación de un ecosistema industrial, conocida hoy en día como simbiosis de Kalundborg (Gulipac, 2016). Posteriormente, varios países se han unido a esta iniciativa y ONUDI ha

incentivado a los países de América Latina y Caribe, China, Marruecos, Sudáfrica, India y Vietnam, mediante su colaboración y asesoría para la implementación de eco-parques de acuerdo con las buenas prácticas y experiencia internacionales (ONUDI et al., 2017).

4.3.2. EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD PARQUES ECO-INDUSTRIALES (EIP)

En cuanto a estudios en modelación dinámica que evalúen sustentabilidad en algunas de sus dimensiones, ambiental y económica, existe un estudio que pretende desarrollar un modelo dinámico de toma de decisiones del sistema ambiental – económico – energía (3Es – Environment, economy, energy), hacia la sustentabilidad; así mismo, el modelo está establecido y simulado utilizando el método de optimización linear (Xu et al., 2017).

De otra parte, existe un compendio completo de 249 indicadores posibles para evaluar la sustentabilidad de un parque eco-industrial, en términos de su desempeño en los tres aspectos de sustentabilidad: ambiental, social y económico (Valenzuela-Venegas et al., 2016); adicionalmente, existen los indicadores establecidos por parte de ONUDI y desarrollados por parte del Consejo Alemán de Construcción Sostenible para los parques industriales sostenibles, los cuales se encuentran dentro de cinco ámbitos: calidad medioambiental, calidad económica, calidad socio-cultural y funcional, calidad técnica y calidad del proceso (ONUDI & Industrial, 2017) y finalmente, siendo China durante los pasados 40 años una fábrica emergente mundial con un enfoque verde, existen los estándares del Ministerio de Ecología y Ambiente de ese país (Zeng et al., 2021).

No obstante, en el año 2020 fue realizado un artículo de revisión en donde se establecen los impactos de sustentabilidad y los retos de implementación en el caso de estudio chino (Hong & Gasparatos, 2020); para efectos de la presente investigación es conveniente tener como referencia las variables que se consideran en este estudio y sobre todo, incluir las variables de ámbito social del compendio de

indicadores (Valenzuela-Venegas et al., 2016), ya que se hace necesario fortalecer esta evaluación (Hong & Gasparatos, 2020).

Así las cosas, en la Tabla 1. Impactos en Sustentabilidad por ámbito, se enumeran los impactos en términos de sustentabilidad necesarios para evaluarla (Hong & Gasparatos, 2020):

Tabla 1. Impactos en Sustentabilidad por Ámbito. Elaboración propia.

Económico	Ambiental	Social
*Desempeño económico a nivel de parque. *Adopción de tecnología *Transición industrial *Efectos económicos regionales	*Ahorro en el uso de recursos *Prevención de residuos y contaminación *Cambio en el uso del suelo y pérdida de biodiversidad	*Salud y seguridad *Riesgos de salud de la contaminación *Educación y entrenamiento en la metodología de minimización de residuos *Creación de empleos *Grado de satisfacción pública con la calidad ambiental local *Grado de conciencia pública con el desarrollo eco-industrial *Calidad de vida *Inversiones éticas *Satisfacción de las necesidades sociales *Distribución del ingreso

5. METODOLOGÍA

5.1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN – INDUSTRIA DE CURTIEMBRES DE SAN BENITO

La industria de curtiembres en Bogotá se encuentra ubicada en el barrio San Benito, perteneciente a la localidad Tunjuelito. Como se observa en la figura 2, la localidad de Tunjuelito está ubicada al sur de la ciudad, en la margen derecha del río Tunjuelito. Limita, al norte, con las localidades de Puente Aranda y Kennedy; al occidente, con la localidad de Ciudad Bolívar; al sur, con la localidad de Usme, y al oriente, con la localidad de Rafael Uribe Uribe. Tunjuelito tiene una extensión total de 1.028,1 hectáreas (ha), de éstas 752,0 se clasifican en suelo urbano y 276,1 son áreas protegidas. La localidad de Tunjuelito no cuenta con suelo rural ni con suelo de expansión (Bogotá, 2004).

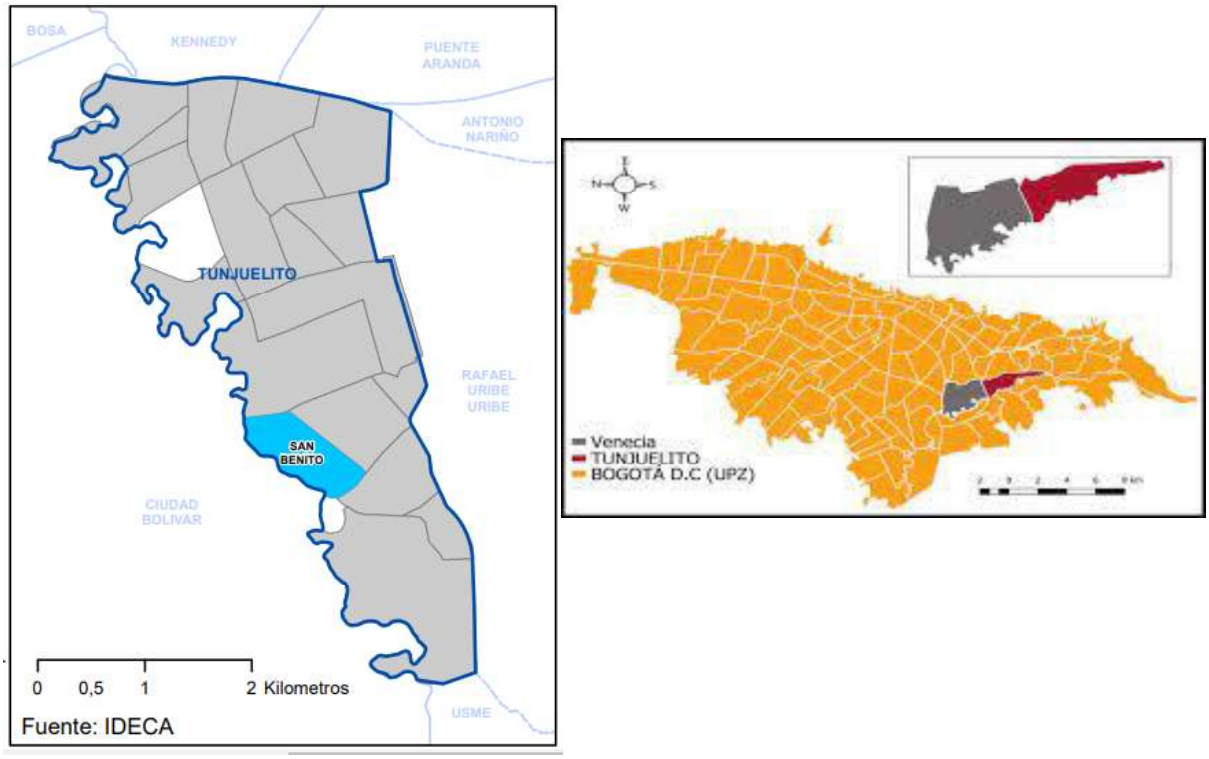


Figura 2. Localidad de Tunjuelito. Fuentes: (Alcaldía Local de Tunjuelito, 2016; Veeduría Distrital, 2017)

El barrio San Benito, por su parte, limita al norte con el barrio Ciudad Tunal, al sur con los barrios Tunjuelito y Escuela de Artillería, al oriente con el barrio San Carlos

y al occidente con los barrios Acacías y Meissen. Es posible observar la ubicación del barrio en la figura 3.

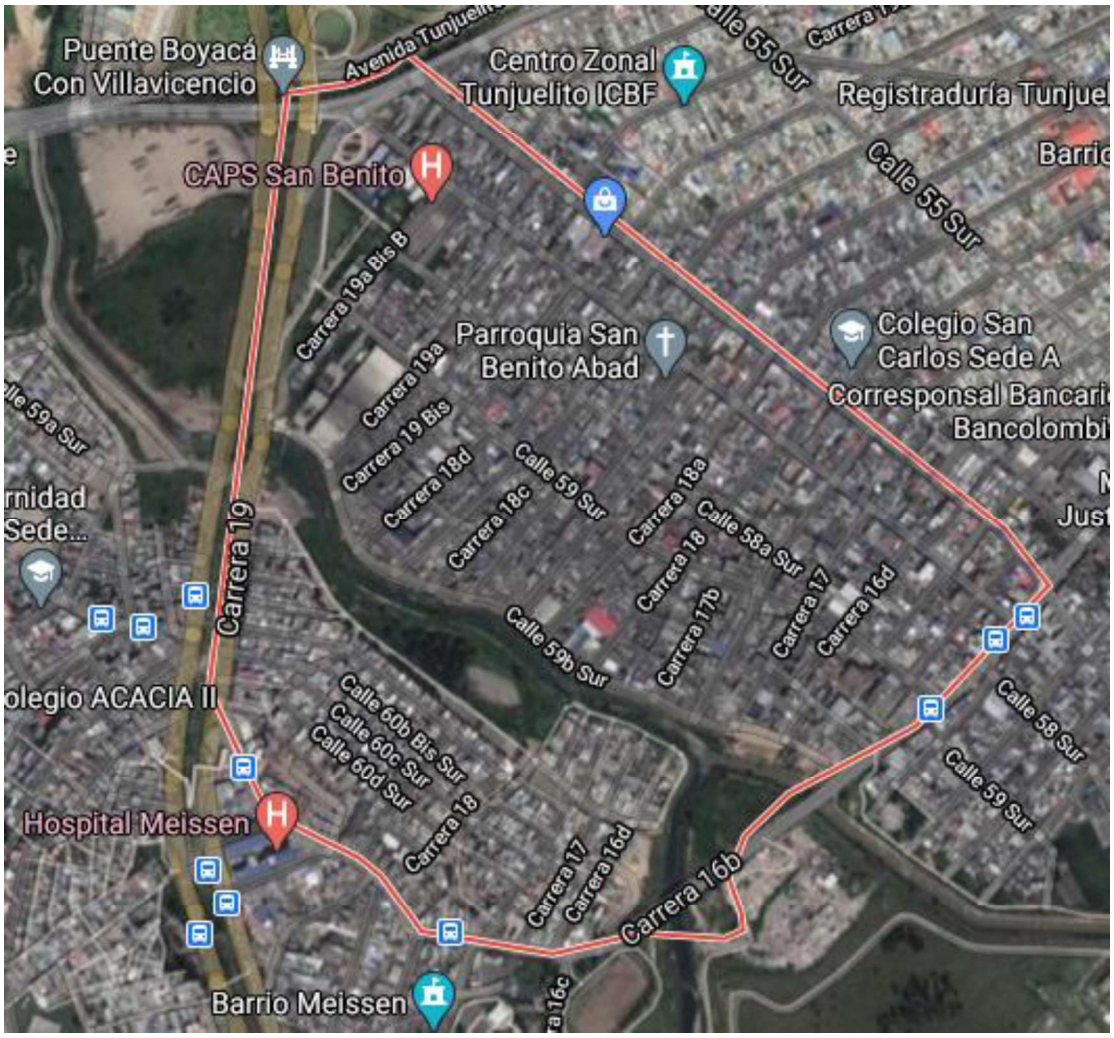


Figura 3. Ubicación Barrio San Benito. Fuente: (Google Earth, 2021)

El cuero se utiliza para la fabricación de calzado y para la fabricación de marroquinería y otras manufacturas en cuero, de donde el total de la producción se divide en 50.4% y 49.6% respectivamente, y Bogotá cuenta con una participación en la producción del 71% en la producción nacional (Ministerio de Ambiente, 2006). El aumento anual de la demanda del cuero en general, es de aproximadamente 3.5%, lo cual fomenta la creación de nuevas empresas (Aprendizaje, 2004). La localidad de Tunjuelito cuenta con empresas dedicadas a la fabricación y comercialización de calzado, lo cual la convierte en una zona de aglomeración en donde toda la cadena del cuero está dentro de un mismo territorio; otra de las ventajas con que cuenta Tunjuelito es que se beneficia del sistema de transporte

masivo Transmilenio debido a dos vías que pertenecen a la red de la avenida Caracas y NQS, así como transporte público por la Avenida Boyacá, avenida 68, avenida Ciudad de Villavicencio y la avenida Tunjuelito (Tunjuelito, 2010).

A continuación, según el diagnóstico POMCA, se encuentran las características básicas de la industria de curtiembres (Ambiente, 2007):

Tabla 2. Características básicas de la industria de curtiembres en San Benito. Fuente: (Ambiente, 2007).

Nivel de Formalidad	Personería Jurídica	75%	**Características Productivas**	Área utilizada	
	RUT	69%		50-150 m^2	30%
	CCB	72%		150-200 m^2	27%
	Existencia de expediente en SDA	61%		Empleo directo	68%
	Existencia de permisos de vertimiento	0%		Empleo indirecto	32%
	Solicitud de permisos de vertimientos	29%		Producción	164.785 piel/mes
Desempeño ambiental	Separación de redes hidrosanitarias	68%		Existencia de lugar adecuado para almacenamiento de pieles	60%
	Tratamiento preliminar	70%		Existencia de lugar adecuado para almacenamiento de químicos	63%
	Tratamiento secundario	2%		Consumo de agua	0.769 m^3/piel
	Tratamiento terciario	1%		Tanque de agua	70%
	Existencia de dispositivos de control	72%			

Para el año 2021, la industria curtidora en San Benito cuenta con 350 empresas operantes, de las cuales 298 son microempresas, 42 son pequeñas empresas y 10 son medianas empresas. El sector está representado por La Cooperativa de Curtidores Coopicur Ltda. y la Corporación Ecológica de San Benito (COESA).

Aproximadamente, el 20% de las curtiembres realizan curtición al tanino y el resto realiza la curtición al cromo. Solamente 5 de las 350 empresas realizan curtición de pieles diferentes a bovino, como lo son ovejo, cabro y becerros. Las empresas son generalmente familiares, el 85% de ellas tiene hasta 10 empleados, el 12% hasta 50 empleados y tan sólo el 3% hasta 200 empleados (C. N. d. P. M. Limpia, 2004). La población del barrio San Benito es de bajos recursos y al momento de crear empresa, optan por un negocio familiar (microempresa) por falta de recursos para invertir en capital inicial, terreno y maquinaria necesarios para el funcionamiento de una empresa pequeña o mediana, tal y como lo menciona el diagnóstico POMCA (Ambiente, 2007).

Por su parte, las autoridades ambientales se han preocupado por la generación de Residuos o Desechos Peligrosos (RESPEL) desde el año 1995, cuando el Departamento de Administración Medio Ambiental (DAMA) inició a adoptar medidas de contención. En el año 1996, se implementó el programa de la Ventanilla Ambiental ACERCAR, el cual tiene como objetivo sensibilizar, capacitar y prestar asistencia técnica. En el año de 1997 se alcanzó una reducción del 50% de impactos ambientales negativos, las medidas que se tomaron en la mayoría de curtiembres fueron: cambio de redes de alcantarillado y redes eléctricas, pavimentación e instalación de cajas de inspección, rejillas, trampas de grasas y sólidos, canales subterráneos de filtración y se realizó la instalación de una planta elevadora para evacuación de sólidos y control de inundaciones En el año 2002, ACERCAR, el Gobierno Suizo, el Centro Nacional de Producción Más Limpia y The Leather Technology Centre realizaron una jornada de capacitación y visitas técnicas a 5 empresas de San Benito para identificar el estado actual en cuanto a su gestión ambiental y productividad; lo que dio como resultado reportes con alternativas para aplicación de buenas prácticas, cambios de proceso y aplicación de tecnologías limpias (C. N. d. P. M. Limpia, 2004). Cabe aclarar que, la efectividad o cobertura real de la SDA es de tan sólo el 7%, es decir que existe un 93% de empresas que no son controladas y/o sancionadas (Consultores et al., 1999; Sánchez-Triana et al., 2007) .

Por otro lado, el ente de control, que es la Secretaría Distrital de Ambiente, sanciona según el reporte de los inspectores de sanidad y las tasas retributivas mínimas fijadas según la resolución 273 de 1997, las cuales son: $39.5/Kg de carga contaminante DBO que para el año 2022 asciende a $165,97/Kg y $16.9/Kg de carga contaminante en SST que para el año 2022 asciende a $70,97/Kg (Sostenible, 2022). No se exige tasa retributiva por DQO ya que este parámetro es asumido como fácilmente mitigable en la PTAR de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá; de hecho, en los reportes de la EAAB no aparece como parámetro crítico de calidad del agua, sólo aparecen el DBO y los SST, por lo que solamente se mide el DQO del efluente para realizar el sellamiento en caso de que la empresa incumpla también con el DBO y los SST (Ambiente, 1997a, 1997b). No obstante, en la realidad los vertimientos no llegan a la PTAR y causan gran impacto ambiental negativo en la cuenca del río Tunjuelo, así las autoridades ambientales asuman una posición diferente (Vásquez Daza, 2012). Así mismo, la política de sellamiento se realiza según la Ley 1333 de 2009 y mediante lo dispuesto en la Resolución 1074 de 1997, en donde se evalúan los niveles de DBO, DQO, Cromo y Sólidos Suspendidos Totales, los cuales tienen un límite permisible de 1000 mg/L, 2000 mg/L, 1mg/L y 800 mg/L respectivamente; si al siguiente año la empresa no ha cumplido con las recomendaciones realizadas por la SDA notificadas mediante una resolución, se procede a realizar el sellamiento de la empresa (Ambiente, 1997a). Cabe aclarar que, las medidas impuestas por la SDA generalmente son tratamientos primarios y por mucho secundarios que no son suficientes para alcanzar los límites permisibles, es decir, no reducen en gran medida los mg/L de los parámetros (Ministerio de Ambiente, 2006; ONUDI, 1994) . Las cargas de contaminación medidas en mg/L en la industria de San Benito son de 3546.72 de DBO, 9310.04 de DQO, 5459.11 de SST y 212.8 de Cromo (ONUDI, 1994).

En el aspecto socio-ambiental, esta gran cantidad de carga contaminante conlleva a que más del 50% de la población sufra de enfermedades crónicas de las vías respiratorias, neumonía, enfermedades cardiopulmonares y tumores, entre otras, así como degradación del sistema de alcantarillado que en épocas de invierno, las aguas se rebosan por los sifones de las viviendas y por las alcantarillas, lo que

ocasiona enfermedades dermatológicas y de las vías respiratorias, además de problemas de vectores y roedores. Adicionalmente, San Benito es uno de los barrios amenazados por inundación por desbordamiento y deslizamiento de tierras, riesgo que se ha declarado como no mitigable debido a las características del terreno y el comportamiento natural de la cuenca del río Tunjuelo (Tunjuelito, 2010).

Específicamente, la población adulta que trabaja en Tunjuelito es en su mayoría informal y se evidencia un desconocimiento en los derechos laborales y riesgos profesionales. La mayoría de población que se centra en la productividad económica en las curtiembres es población en condición de desplazamiento y cuentan con un nivel educativo bajo como básica primaria por lo que no se les permite ingresar a una oferta laboral formal, lo que genera creación o adhesión a empresas curtidoras y hace de las curtiembres una plataforma de empleo en el territorio, siendo una importante zona industrial para la comunidad (Tunjuelito, 2010).

En el aspecto productivo, para un kilogramo de cuero, se necesitan 4.5 kg de piel cruda (C. N. d. P. m. Limpia, 2004a), la cual tiene un peso entre 29 y 43 kg dependiendo del animal (Quiroga Tapias & Maldonado Carrillo, 2007); entre 8 y 12 Watts de energía y 240 miligramos de cromo o de curtidor vegetal según sea el tipo de curtición (C. N. d. P. m. Limpia, 2004b). La producción se ve restringida por la disponibilidad de pieles, relativo al proceso de curtido y a la cadena productiva del cuero (C. N. d. P. m. Limpia, 2004b).

La capacidad productiva está directamente relacionada con el número de empleados que cada empresa posee, dado que la tecnología es artesanal, por lo que la capacidad productiva de la compañía no cambia si sus empleados son los mismos, lo cual generalmente es así debido al carácter familiar de éstas. Así mismo, se observa que, aunque algunas empresas cumplen con proveer dotaciones de seguridad a sus trabajadores, ellos no los utilizan por incomodidad y no están conscientes de la protección que estos les brindan así como el manejo inapropiado de los desechos y los vertimientos directos al río (ONUDI, 1994).

Desde el punto de vista demográfico, no se evidencia un aumento poblacional en la localidad de Tunjuelito durante los doce años comprendidos entre 1993 y 2005. La tendencia se muestra estática debido al agotamiento de la tierra urbanizable; que a su vez conlleva a que la industria de curtiembres mantenga una cifra constante en su mano de obra. En otras palabras, la capacidad actual utilizada es la máxima de la industria local (Ambiente, 2007).

5.2. DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

La tabla 3 muestra un diagrama del diseño metodológico empleado para la consecución de cada uno de los objetivos de la presente investigación:

Tabla 3. Diseño Metodológico. Elaboración propia.

	Actividades / Herramientas		Productos
Objetivo 1	Inicio		Selección de variables para el modelo dinámico
	Búsqueda de artículos con las palabras clave. – Selección de categorías	Science Direct, Google Scholar, Springer Link, Scopus	
	Selección de artículos con criterios de exclusión.		
	Selección de artículos de acuerdo con resúmenes y verificación de modelos dinámicos.		
Objetivo 2	Caracterización de la percepción social	Realización de encuestas virtuales semiestructuradas para conocer la percepción social.	Modelo dinámico para evaluar sustentabilidad
	Construcción del diagrama causal	Consulta de fuentes primarias de información, documentos y estudios publicados por agremiaciones de curtidores, IDEAM, SDA, MADS, SDDE, CAR, EAAB, DANE. Pruebas de bondad de ajuste para contrastar normalidad en los datos.	
	Diagnóstico del sistema		
	Construcción del diagrama de Forrester		
	Simulación del modelo		
	Verificación del modelo	Simulación de MonteCarlo	
Objetivo 3	Generación del escenario PIESB	Análisis de sensibilidad	Recomendaciones de gestión.
	Evaluación de resultados y comparación con el sistema actual	Prueba de Shapiro-Wilk para corroborar normalidad y prueba de diferencia de Medias T-student de muestras relacionadas.	
	Formulación de recomendaciones de gestión		

5.2.1. Metodología objetivo 1.

La investigación inicia con la consecución del primer objetivo para identificar las variables endógenas y los indicadores que posteriormente permitirán medir la sustentabilidad en procesos industriales, en este caso, en el proceso de curtido. Para ello se efectuó la búsqueda a nivel mundial de artículos de modelos de dinámica de sistemas relacionados con la gestión de residuos y la evaluación de sustentabilidad en procesos industriales y, finalmente, artículos relacionados con la percepción social de la sustentabilidad en procesos industriales.

Así pues, según la propuesta de (Zafra-Mejía et al., 2017), se desarrollaron tres fases de revisión; en donde la primera fase se realizó para detectar artículos científicos asociados con las palabras clave en inglés para cada uno de los tres temas de revisión descritos anteriormente. Para la segunda fase, se efectuó una revisión bibliográfica en donde se incluyeron las palabras clave con mayor citación a partir de los filtros reportados por Scopus, teniendo en cuenta criterios de exclusión. Por último, para la tercera fase se escogieron los documentos luego de analizar los resúmenes y verificar que éstos cumplieran con los criterios de exclusión establecidos en la segunda fase.

5.2.2. Metodología objetivo 2.

La Dinámica de Sistemas ha estado creciendo en campos de aplicabilidad, en tanto hoy en día es posible aplicarla a casi todos los campos del conocimiento si se los entiende como sistemas (Aracil & Gordillo, 1997).

5.2.2.1. Caracterización de la percepción social.

A partir de las variables sociales a considerar en el modelo, fue necesario realizar encuestas semiestructuradas a la población, en forma virtual con motivo de la pandemia; con el fin de caracterizar el subsistema social.

Para lograr lo anterior, se evidencia que en la UPZ Tunjuelito, de acuerdo con el último censo del DANE en el año 2018, la población corresponde a 38.752 personas; no obstante, se ha dificultado el dato exacto de la cantidad de habitantes en el barrio San Benito en específico. Así las cosas, teniendo en cuenta que esta UPZ cuenta con 16 barrios; se procede a dividir la cantidad total de personas de la UPZ entre la cantidad de barrios, para un total de 2.422 personas por barrio. Es importante aclarar, que es necesario conocer la percepción social de las personas que residen en el barrio independientemente si son curtidores o no, ya que la contaminación afecta a la población con cercanía a esta industria; es decir, a quienes viven en el barrio San Benito.

Así las cosas, para estimar el tamaño de la muestra aleatoriamente, es necesario tener en cuenta la siguiente ecuación para una población finita Martínez (2012):

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * p * (1 - p)}$$

En donde:

n: Tamaño de muestra

N: Universo

Z: Nivel de confianza

p: Probabilidad de que ocurra el evento de estudio

e: Margen de error

En virtud de lo anterior, con un nivel de confianza del 95%, el valor de *Z* correspondería a 1.96, un margen de error *e* del 10% y una probabilidad de que ocurra el evento de estudio *p*, teniendo en cuenta que no se cuenta con un estudio previo, por defecto del 50%; el tamaño de muestra para el presente trabajo, es el siguiente:

$$n = \frac{2422 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{(2422 - 1) * (0.1)^2 + 1.96 * 0.5 * 0.5} = 94.1736 \approx 94$$

5.2.2.2. Construcción del diagrama causal

El objetivo de esta actividad es aproximarse en primera instancia, cualitativamente, a una estructura que describa el comportamiento del sistema; para ello, se declaran variables y relaciones de causalidad entre ellas; ello da origen a lo que se conoce como diagrama de bucle causal en dinámica de sistemas (Rojas, 2010).

Los diagramas consisten en bucles con una determinada polaridad; y todos los bucles operan a través de variables que se relacionan entre ellas por vínculos causales con una determinada polaridad; es decir, es positivo siempre y cuando el incremento de una variable conlleve al incremento de la otra variable o negativo cuando el incremento de una variable disminuya la otra variable. Por tanto, los componentes de este diagrama son las variables y sus relaciones o vínculos (Rojas, 2010).

5.2.2.3. Diagnóstico del sistema.

El resultado del diagnóstico del sistema consiste en obtener toda la información necesaria para los parámetros y posterior definición matemática de las variables del modelo (Rojas, 2010).

Para lo anterior, esta fase consiste en consultar fuentes primarias de información, documentos y estudios publicados por agremiaciones de curtidores Secretaría Distrital de Ambiente, Secretaría Distrital de Desarrollo Económico (SDA), Secretaría de Ambiente, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Corporación Autónoma Regional (CAR), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), comunidad académica, entre otras instituciones relacionadas con esta industria y con el recurso hídrico afectado por la misma; bien sea información física o digital en forma de estadísticas, informes, reportes, libros, ensayos, artículos, memorias de eventos, tesis, legislación y normatividad colombiana vigente en lo

relacionado al medio ambiente, a las curtiembres y a la población.

Posteriormente, fue necesario caracterizar los conjuntos de datos mediante las pruebas de bondad de ajuste Chi Cuadrado, Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling, con el fin de conocer si los datos de las muestras provienen de una distribución de probabilidad específica (uniforme, exponencial, normal, poisson) (Rojas, 2010). Esto, con el fin de ingresar el comportamiento de las variables en el diagrama de Forrester y así mismo, poder contrastar los datos en la fase de evaluación de resultados y comparación con el sistema actual (Rojas, 2010).

5.2.2.4. Construcción del diagrama de Forrester

En las anteriores fases, se obtuvo una estructura de carácter cualitativo del comportamiento del sistema. Posteriormente, fue necesario cuantificar esa estructura, introduciendo a las variables sus ecuaciones respectivas, teniendo como información de entrada el diagrama causal y los parámetros obtenidos del diagnóstico del sistema. El objetivo de esta fase entonces, fue representar matemáticamente el modelo mediante el diagrama de Forrester, con variables de flujo, de nivel, variables auxiliares y constantes que permitan dar cuenta del comportamiento del sistema (Rojas, 2010).
Para ello, se hizo necesario definir las ecuaciones bien sea aritméticas, con funciones, con tablas, con retrasos, condicionales a las variables (Rojas, 2010). Para esto, se utilizó la herramienta Vensim.

5.2.2.5. Simulación del modelo

Continuando con el desarrollo del segundo objetivo específico de investigación y posterior a la construcción del modelo, viene la fase de simulación, que consiste en observar el comportamiento de las variables a través del tiempo. En esta fase se pretende identificar tendencias y, también, es necesaria para la calibración del modelo. Es importante tener en cuenta que las fases de construcción de diagramas, la simulación y la posterior validación o calibración del modelo son cíclicas y debe

realizarse las veces que sea necesario (Rojas, 2010). Adicionalmente, se pretende verificar que las ecuaciones ingresadas en el diagrama de Forrester funcionen correctamente y que el sistema en efecto arroje resultados; es decir, es necesario evidenciar que el modelo corra sin ningún tipo de interrupción.

5.2.2.6. Verificación del modelo

Para concluir la consecución del segundo objetivo específico y si bien es importante que el diagrama de Forrester se encuentre bien estructurado a nivel técnico, es necesario validar que las ecuaciones y parámetros ingresados allí correspondan a la realidad. Para ello existe la herramienta de MonteCarlo (Aracil & Gordillo, 1997). Esta herramienta permite evidenciar si el modelo puede "predecir" el comportamiento pasado, dado que si es ello es posible, esto indica que el modelo podrá predecir el comportamiento futuro, ya que está arrojando resultados semejantes a la realidad (Aracil & Gordillo, 1997). Para poder comparar el comportamiento histórico con el comportamiento del modelo, fue necesario cambiar los parámetros de entrada de actuales a los históricos, y posteriormente, evidenciar si el comportamiento histórico se encuentra dentro de los resultados arrojados por MonteCarlo (Aracil & Gordillo, 1997).

5.2.3. Metodología objetivo 3.

5.2.3.1. Generación del escenario PIESB

Para dar inicio al desarrollo del tercer objetivo de investigación y posterior a la verificación del modelo, se hizo necesario ingresar el escenario del PIESB modificando los parámetros existentes; estableciendo un comportamiento a un máximo y mínimo de ellos y cómo el sistema responde a esos cambios en los parámetros, se conoce como análisis de sensibilidad. El fin último del análisis de sensibilidad es conocer cómo se comporta el sistema al cambiar los parámetros estratégicos (o que se consideraban estratégicos en un inicio). El resultado puede ser que el sistema es muy "sensible" ante el cambio de uno de esos parámetros y

por ello, la política de solución al problema es efectiva o, por lo contrario, el comportamiento de las variables representativas del sistema, no responde en forma significativa al cambio de dicho parámetro y, por tanto, la política no será efectiva y será necesario implementar políticas que afecten o cambien directamente los parámetros estratégicos a los que el sistema es sensible (Aracil & Gordillo, 1997).

5.2.3.2. Evaluación de resultados y comparación con el sistema actual

Para continuar con el desarrollo del tercer objetivo de investigación y posterior al análisis de sensibilidad, se hizo necesario evaluar los resultados arrojados al cambio de los parámetros y compararlos con el sistema actual, con el fin de determinar si los cambios del sistema en general son significativos o no y, por tanto, en esta fase determinar si la política es o no efectiva. Para ello fue necesario corroborar el supuesto de normalidad en los resultados de la variable representativa mediante la prueba de Shapiro-Wilk y posteriormente efectuar una prueba de diferencia de medias T-student de muestras relacionadas, con el fin de evidenciar si el cambio es o no significativo entre ambos conjuntos de datos de las variables representativas, estadísticamente hablando y no sólo por la percepción que pueda brindar el análisis de sensibilidad. El objetivo de esta fase fue proponer las mejoras a las que haya lugar, teniendo en cuenta el análisis de sensibilidad y lo que se pretende lograr en la mejora del comportamiento de las variables representativas del sistema (Aracil & Gordillo, 1997).

5.2.3.3. Formulación de recomendaciones de gestión del PIESB

Finalmente, con el fin de concluir la investigación, una de las bondades de la dinámica de sistemas es que es una herramienta que permite la toma de decisiones de acuerdo con un análisis holístico del sistema (Tan et al., 2018); por consiguiente, con esta actividad fue posible formular recomendaciones de gestión mediante las cuales se estime que el PIESB se acerque a la consecución de una sustentabilidad débil, de acuerdo con el análisis de sensibilidad arrojado en la actividad anterior.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES SEGÚN REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

6.1.1. Revisión gestión de residuos

De acuerdo con Zafra et al. (2017) para calcular la frecuencia relativa de las citas de las palabras claves reportadas por Scopus, los cuartiles se formaron en la siguiente forma: Q1: 0.75-1.0; Q2: 0.5-0.75; Q3: 0.25-0.50; Q4: 0.0-0.25. Además, se calculó el promedio del cuartil de las cuatro bases de datos, como es posible evidenciar en la tabla 4. En promedio, los artículos revisados citaron con mayor frecuencia el reciclaje (Q2: 0,523), siendo la única categoría tenida en cuenta, dado que es la única que pertenece al cuartil 2.

Tabla 4. Metodología selección de categorías. Fuente: propia basada en (Zafra-Mejía et al., 2017)

Fase	Palabras clave	Base de Datos								Índice Medio	Variación Cuartil	Cuartil Promedio
		Scopus		SpringerLink		Science Direct		Google				
		Doc. Detect.	Índice	Doc. Detect.	Índice	Doc. Detect.	Índice	Doc. Detect.	Índice			
1	Waste Management (Gestión de residuos) AND System Dynamics (Dinámica de Sistemas)	93	1.0000	194	1.0000	345	1.0000	6325	1.0000			
2	Recycling (Reciclaje)	38	0.4086	59	0.3041	225	0.6522	4600	0.7273	0.5230	Q3,Q4,Q2,Q2	Q2
	Sustainable Development (Desarrollo Sustentable)	15	0.1613	87	0.4485	130	0.3768	3290	0.5202	0.3767	Q4,Q3,Q3,Q2	Q3
	Environmental Impact (Impacto Ambiental)	9	0.0968	64	0.3299	183	0.5304	2330	0.3684	0.3314	Q4,Q4,Q2,Q3	Q3
	Landfill (Vertedero)	16	0.1720	21	0.1082	149	0.4319	1660	0.2625	0.2437	Q4,Q4,Q3,Q3	Q4
	Waste Disposal (Disposición de Residuos)	30	0.3226	28	0.1443	91	0.2638	1550	0.2451	0.2439	Q3,Q4,Q3,Q4	Q4
	Solid Waste Management (Gestión de Residuos Sólidos)	21	0.2258	12	0.0619	81	0.2348	1840	0.2909	0.2033	Q4,Q4,Q4,Q3	Q4
	Waste Treatment (Tratamiento de Residuos)	11	0.1183	13	0.0670	66	0.1913	1150	0.1818	0.1396	Q4,Q4,Q4,Q4	Q4
	Demolition (Demolición)	11	0.1183	12	0.0619	53	0.1536	719	0.1137	0.1119	Q4,Q4,Q4,Q4	Q4
	Electronic Waste (Residuos Electrónicos)	8	0.0860	6	0.0309	10	0.0290	400	0.0632	0.0523	Q4,Q4,Q4,Q4	Q4

De los 43 artículos escogidos conforme al Anexo 2 del presente documento, el comportamiento de publicación por año es el mostrado en la figura 4:



Figura 4. Cantidad de artículos escogidos por año de publicación. Elaboración propia.

De los 43 artículos revisados, la cantidad de artículos por año, según el área de aplicación del modelo de simulación, es el indicado en la tabla 5:

Tabla 5. Publicaciones por año, según el área de aplicación de los modelos de simulación. Elaboración propia.

Área de Aplicación	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total	%
Residuos sólidos municipales	4	1	2		3		4	2	4	1	3	**24**	**55.8%**
Residuos de construcción y demolición				1	1		1		1			**4**	**9.3%**
Computadores									1		1	**2**	**4.7%**
Residuos hospitalarios	1					1						**2**	**4.7%**
Baterías								1				**1**	**2.3%**
Biodiesel				1								**1**	**2.3%**
Celulares											1	**1**	**2.3%**
Industria del papel						1						**1**	**2.3%**
Recuperación de productos											1	**1**	**2.3%**
Residuos alimenticios											1	**1**	**2.3%**
Residuos biológicos							1					**1**	**2.3%**
Residuos electrónicos									1			**1**	**2.3%**
Residuos plásticos					1							**1**	**2.3%**
Turismo											1	**1**	**2.3%**
Vehículos									1			**1**	**2.3%**

De lo anterior, se evidencia que con el paso del tiempo, han incursionado nuevas áreas de aplicación para los residuos sólidos; por ejemplo, para el año 2008, se realizaron investigaciones en residuos sólidos municipales (Adamides et al., 2009; Schwaninger et al., 2008; Ulli-Beer et al., 2007) y en residuos hospitalarios (Chaerul et al., 2008); para el año 2011 ingresaron las áreas de construcción y demolición (Zhao et al., 2011) y biodiesel (Musango et al., 2011); para el 2012 se realizó un modelo de simulación enfocado a los residuos plásticos (Long et al., 2012); para el año 2013 se realizó un estudio enfocado a la gestión de residuos en la industria del

papel (Georgiadis, 2013); para el 2014 ingresó el área de los residuos biológicos (Pubule et al., 2015); para el 2015 se efectuó un estudio enfocado a las baterías (Blumberga et al., 2015); para el año 2016 ingresaron los estudios sobre residuos electrónicos (Dasgupta et al., 2017), computadores (Verônica Ghisolfi et al., 2017) y vehículos (Inghels et al., 2016) y, finalmente, para el año 2018, han ingresado modelos sobre celulares (Yao et al., 2018), recuperación de productos (Alamerew & Brissaud, 2018), residuos alimenticios (Charles Estay-Ossandon & Angel Mena-Nieto, 2018; Lee et al., 2018) y turismo (C. Estay-Ossandon & A. Mena-Nieto, 2018).

Así mismo, del total de 43 artículos, se evidencia que para nueve (09) documentos se reportaron dos países y para un (02) artículos, se reportaron tres países (China, USA, Hong Kong y Países Bajos, Bélgica y Alemania); por consiguiente, la ubicación geográfica de las áreas de aplicación se evidencia en la figura 5 y el detalle de la misma en la tabla 6.

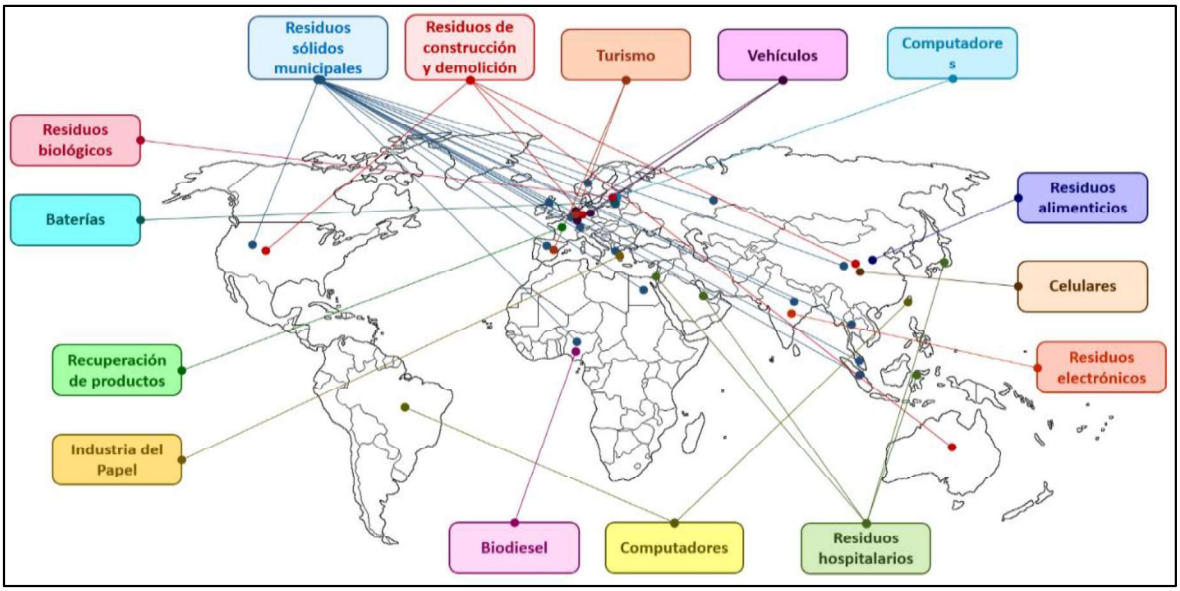


Figura 5. Ubicación geográfica de las áreas de aplicación de los modelos de simulación analizados. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Ubicación geográfica según área de aplicación del modelo de simulación. Elaboración propia.

Países	Residuos sólidos municipales	Residuos de construcción y demolición	Residuos hospitalarios	Vehículos	Computadores	Turismo	Baterías	Biodiesel	Celulares	Industria del papel	Recuperación de productos	Residuos alimenticios	Residuos biológicos	Residuos electrónicos	Residuos plásticos	Total por país	% por país
China	2	4							1			1			1	**9**	**16%**
Alemania	2	1		1		1										**5**	**9%**
USA	3	1														**4**	**7%**
España	2					1										**3**	**5%**
Grecia	2									1						**3**	**5%**
India	2													1		**3**	**5%**
Letonia	1						1						1			**3**	**5%**
Singapur	3															**3**	**5%**
Suiza	3															**3**	**5%**
Bélgica	1			1												**2**	**4%**
Nigeria	1							1								**2**	**4%**
Reino Unido	2															**2**	**4%**
Australia		1														**1**	**2%**
Brasil					1											**1**	**2%**
Chile	1															**1**	**2%**
Egipto	1															**1**	**2%**
Francia											1					**1**	**2%**
Indonesia			1													**1**	**2%**
Japón			1													**1**	**2%**
Malasia	1															**1**	**2%**
Noruega	1															**1**	**2%**
Países Bajos				1												**1**	**2%**
Palestina			1													**1**	**2%**
Qatar			1													**1**	**2%**
Tailandia	1															**1**	**2%**
Taiwan					1											**1**	**2%**
Total por área	**29**	**7**	**4**	**3**	**2**	**2**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**56**	**100%**

Del análisis de los países que publican sobre modelación dinámica en gestión de residuos sólidos, se evidencia que China es el país que realiza el mayor número de artículos con el 16% del total de publicaciones, enfocándose en las áreas de residuos de construcción y demolición, residuos sólidos municipales, celulares, residuos alimenticios y plásticos; posteriormente, le sigue Alemania con una participación del 9% del total de artículos analizados, con áreas de interés como residuos sólidos municipales, residuos de construcción y demolición, vehículos y turismo; seguida de Estados Unidos con un 7% de participación del total de documentos, y áreas de interés en residuos sólidos municipales y residuos de construcción y demolición.

En cuanto a los autores, se evidencia que trece (13) autores publicaron dos artículos y únicamente un autor se encuentra referenciado en tres artículos; por tanto, no se evidencia una tendencia en los mismos. A continuación, este apartado se divide en tres categorías: variables de nivel, variables de flujo y variables auxiliares.

6.1.1.1. Variables de nivel

Dentro de la revisión efectuada, se evidencia que las variables de nivel o stocks más representativos dentro de la modelación dinámica de la gestión de residuos (repetidas en 3 artículos o más), son los relacionados en la tabla 7:

Tabla 7. Variables de nivel representativas. Elaboración propia.

Variable de nivel	Cantidad de artículos
Población	14
PIB	11
Cantidad de residuos reciclados	4
Capacidad de incineración	4
Residuos en relleno sanitario	4
Residuos hospitalarios	3
Residuos no tratados	3

No obstante, vale la pena mencionar la tendencia que poseen las variables nuevas, es decir, variables que no se hayan encontrado en años anteriores; por tanto, en la figura 6 se presenta la cantidad de variables nuevas ingresadas por año y en la tabla 8 se evidencian las tendencias por año en la inclusión de nuevas variables.

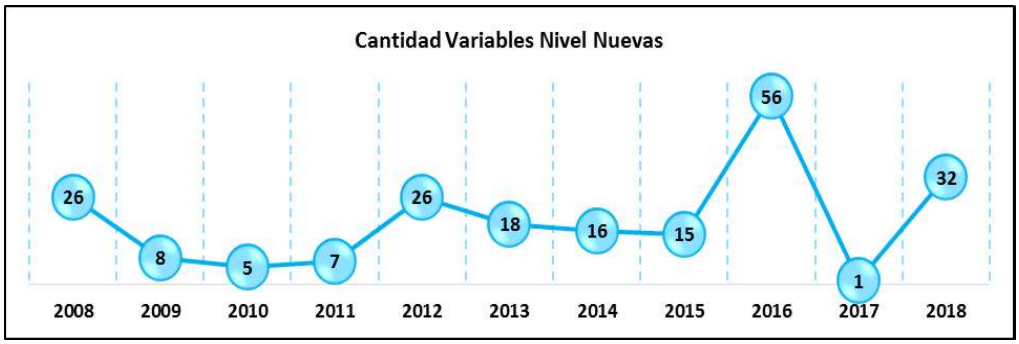


Figura 6. Cantidad de variables de nivel nuevas por año de publicación. Elaboración propia.

Tabla 8. Tendencias de variables por año en gestión de residuos. Elaboración propia.

2008	•Variables inherentes a la gestión de residuos que se limitan a contabilizar la cantidad de residuos discriminados en hospitalarios, infecciosos, reciclados y cantidad de personas.
2009	•Variables orientadas a los productos
2010	•Incursión de la capacidad del relleno sanitario, PIB, comportamiento de recolección selectivo, tasa de reutilización y residuos municipales medidos per cápita.
2011	•Variables orientadas a biodiesel, costo de operación y precio del terreno.
2012	•Variables orientadas al compostaje y a la incineración, como herramientas de la disposición final en la gestión de residuos.
2013	•Variables de generación de residuos desagregadas por papel, cartulina, algodón absorbente, tejidos, plásticos
2014	•Variables orientadas a personas ambientalistas y con disposición de separación, residuos separados, inclusión de los residuos biológicos dentro del análisis y vertimientos ilegales.
2015	•Variables orientadas a las baterías, financiamiento, y conciencia ambiental de la población en la gestión de residuos
2016	•Variables enfocadas en residuos domiciliarios e inclusión del calentamiento global dentro de los análisis; así como las normas inyuntivas, descriptivas y normatividad general de residuos.
2017	•Tasa de incineración
2018	•Variables enfocadas a la calidad de los ecosistemas, penalidad, subvenciones, salud humana, reciclaje desagregado por academia, industria y gobierno y variables endógenas del turismo.

6.1.1.2. Variables de flujo

Dentro de la revisión efectuada, se evidencia que las variables de flujo más representativas dentro de la modelación dinámica de la gestión de residuos (repetidas en 3 artículos o más), son las listadas en la tabla 9.

Tabla 9. Variables de flujo representativas. Elaboración propia.

Variable de flujo	Cantidad de artículos
Muertes	6
Nacimientos	6
Tasa de reciclaje	6
Cantidad de residuos generados	4
Demanda	3
Tasa de generación de residuos	3
Tasa de incineración	3
Ventas	3

No obstante, vale la pena mencionar la tendencia que poseen las variables nuevas, es decir, variables que no se hayan encontrado en años anteriores; por tanto, en la figura 7 se presenta la cantidad de variables nuevas ingresadas por año:

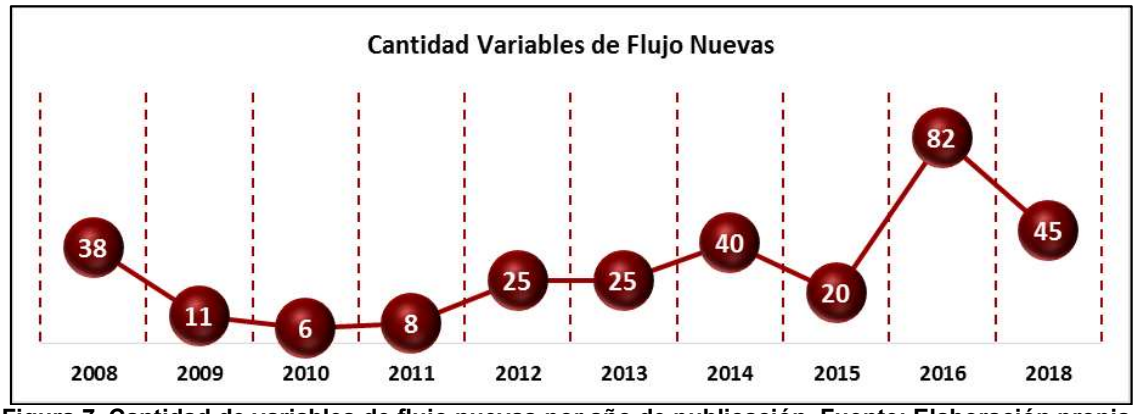


Figura 7. Cantidad de variables de flujo nuevas por año de publicación. Fuente: Elaboración propia.

Posterior al análisis de datos, se evidencia que las tendencias en el enfoque de los flujos se relacionan en forma directa con las variables de nivel descritas en el anterior apartado.

6.1.1.3. Variables auxiliares

Dentro de la revisión efectuada, se evidencia que las variables auxiliares más representativas dentro de la modelación dinámica de la gestión de residuos (repetidas en 3 artículos o más), son las relacionadas en la tabla 10.

Tabla 10. Variables auxiliares representativas. Elaboración propia.

Variable auxiliar	Cantidad de artículos
Tasa de reciclaje	4
Total de residuos generados	4
Capacidad de reciclaje	3
PIB	3
Tasa de mortalidad	3

No obstante, vale la pena mencionar la tendencia que poseen las variables nuevas, es decir, variables que no se hayan encontrado en años anteriores; por tanto, en la figura 8 se presenta la cantidad de variables nuevas ingresadas por año:

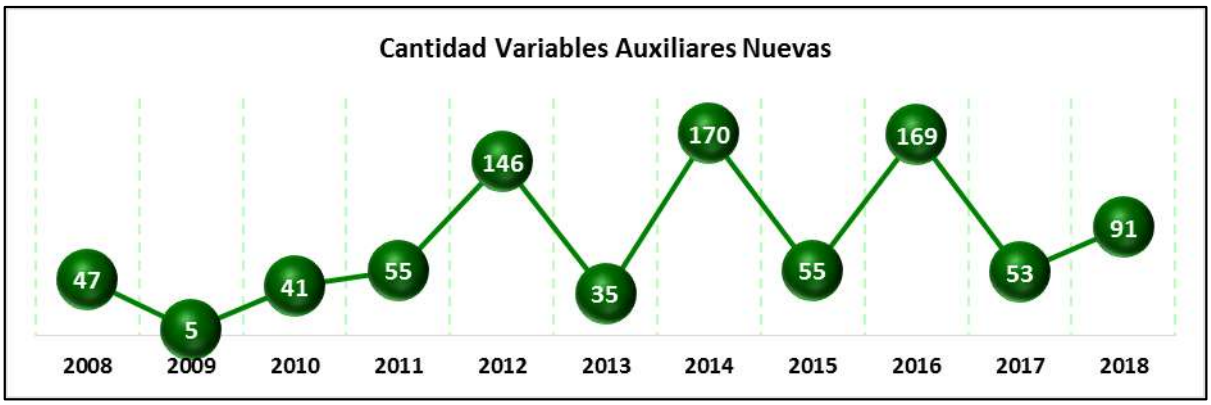


Figura 8. Cantidad de variables auxiliares nuevas por año de publicación. Fuente: Elaboración propia.

Posterior al análisis de datos, se evidencia que las tendencias en el enfoque de las variables auxiliares, se relacionan con los factores de impacto, elasticidades, demandas, tipos de industria, precios, tarifas, tiempos, ajustes y tratamientos.

6.1.2. Revisión evaluación de sustentabilidad en procesos industriales

Los tres (03) documentos escogidos, conforme se describe en el apartado 9.2. del Anexo 2 del presente documento, corresponden a los siguientes. No obstante, producto de esta revisión, se logró identificar siete (07) autores en total.

- El estudio en el año 2011: “Sustainable development of bioenergy sector: An integrated methodological framework”, mediante el que se evalúa sustentabilidad para el desarrollo del sector bioenergético basado en los intereses de los stakeholders para implementar políticas energéticas y ambientales, suministra 12 criterios escogidos por el proceso de jerarquía analítica (Analytic Hierarchy Process – AHP) aunado con la dinámica de sistemas, críticos para evaluar la sustentabilidad (Halog, 2011).

- El estudio en el año 2017: “Sustainability assessment to support governmental biodiesel policy in Colombia: A system dynamics model”, brinda un modelo de dinámica de sistemas que evalúa sustentabilidad para la toma de decisiones gubernamentales en biodiesel en Colombia (Espinoza et al., 2017).

- El estudio en el año 2018: “A systemic conceptual model to assess the sustainability of industrial ecosystems. In New perspectives on applied industrial tools and techniques”, brinda un modelo conceptual sistémico para la toma de decisiones en la evaluación de sustentabilidad de ecosistemas industriales; el resultado es el diagrama causal para evaluar sustentabilidad en una compañía de orden industrial (Mota-López et al., 2018). Vale la pena indicar, que este estudio referenció a cinco (05) autores para las variables utilizadas.

6.1.3. Revisión percepción social de la sustentabilidad de procesos industriales

De acuerdo con Zafra et al. (2017) para calcular la frecuencia relativa de las citas de las palabras claves reportadas por Scopus, los cuartiles se formaron en la siguiente forma: Q1: 0.75-1.0; Q2: 0.5-0.75; Q3: 0.25-0.50; Q4: 0.0-0.25. Además, se calculó el promedio del cuartil de las cuatro bases de datos, como es posible evidenciar en la tabla 5. En promedio, los artículos revisados citaron con mayor frecuencia el cuestionario de encuesta (Q2: 0,6057), siendo esta la herramienta escogida para conocer la percepción social y la única categoría tenida en cuenta, dado que es la única que pertenece al cuartil 2, conforme a la tabla 11.

Tabla 11. Metodología selección de categorías. Fuente: propia basada en (Zafra-Mejía et al., 2017)

Fase	Palabras clave	Base de Datos								Índice Medio	Cuartil promedio	Variación Cuartil
		Scopus		SpringerLink		Science Direct		Google				
		Doc. Detect.	Índice	Doc. Detect.	Índice	Doc. Detect.	Índice	Doc. Detect.	Índice			
1	Social Perception (Percepción Social) AND Sustainability (Sustentabilidad) AND Industry (Industria)	4	1.0000	416	1.0000	132	1.0000	7160	1.0000			
2	Environmental Impact (Impacto Ambiental)	4	1.0000	127	0.3053	47	0.3561	984	0.1374	0.4497	Q3	Q1,Q3,Q3,Q3
	Questionnary Survey (Cuestionario de Encuesta)	2	0.5000	266	0.6394	94	0.7121	4090	0.5712	0.6057	Q2	Q2,Q2,Q2,Q2
	Stakeholder (Interesado)	2	0.5000	242	0.5817	60	0.4545	1460	0.2039	0.435	Q3	Q2,Q2,Q3,Q4
	Sustainable Development (Desarrollo Sustentable)	2	0.5000	132	0.3173	57	0.4318	1890	0.2640	0.3783	Q3	Q2,Q3,Q3,Q3
	Building Information Model - BIM (Modelo de Información de Construcción)	2	0.5000	4	0.0096	2	0.0152	42	0.0059	0.1327	Q4	Q2,Q4,Q4,Q4

Vale la pena mencionar que un criterio es relevante para los negocios cuando es un aspecto social, que la empresa debe abordar o considerar en sus actividades o cuando es un aspecto social por el que las empresas deben asumir la responsabilidad; para conocer la percepción social de cada uno de ellos, una de las herramientas que se utiliza corresponde a la aplicación de encuestas (Labuschagne & Brent, 2008).

Adicionalmente, se evidencia que para dos (02) artículos, la escala fue alto-medio-bajo y positivo-indiferente-negativo; para (02) artículos, la escala fue de tres (03) niveles para cada pregunta y para cuatro (04) artículos, la escala utilizada fue la de Likert; por consiguiente, para el presente trabajo se utilizó esta última escala.

Así mismo, se evidencia que en 7 de 10 encuestas, es decir, en el 70% realizaron preguntas preliminares relacionadas con la información de caracterización socio-demográfica del encuestado: edad, género, nivel de educación, profesión e ingreso.

Ahora bien, en cuanto a las categorías de preguntas, 7 de los 10 documentos fueron divididos en categorías; sin embargo, no presentaron coincidencias en las mismas. En este sentido, de acuerdo con la ecuación de sustentabilidad de (Pearce & Atkinson, 1998), las preguntas asociadas más relevantes y aplicables a la industria de curtiembres serán clasificadas en alguno de los capitales de la citada ecuación: capital hecho por el hombre por bienes producidos (KM), capital humano (KH), recursos naturales (KN) e interacciones entre las personas, instituciones y el gobierno (KS).

En virtud de lo anterior, se tuvieron en cuenta las variables que se repiten en al menos dos (02) artículos, de acuerdo con la cantidad de artículos que mencionan cada una de las variables registrados en el apartado 8.3. del Anexo 1 del presente documento. Sumado a lo anterior, se realizó una pregunta con respecto a la percepción en el impacto de la implementación del Parque Industrial Eco-eficiente en San Benito en cada uno de los capitales de la sustentabilidad.

6.1.4. Resultados y análisis general.

En virtud de las anteriores revisiones: modelos dinámicos de gestión de residuos (GR), modelos dinámicos de sustentabilidad en la industria (SI) y percepción social de la sustentabilidad de la industria (PS); es posible determinar que las variables a incluir dentro del modelo dinámico que se realizará en el objetivo 2 serán las enumeradas en la tabla 12, que tiene registrada la información sobre cantidad de artículos (QA).

Vale la pena indicar, que el criterio de selección de las variables corresponde a la frecuencia de citación de las mismas, la cual corresponde a la sumatoria de frecuencias en las tres revisiones y debe ser mayor o igual a 44%. Así mismo, de la cantidad total de artículos fueron excluidos aquellos que poseen variables únicas e irrepetibles en los demás revisados; por consiguiente, para las revisiones de GR, SI y PS, fueron tenidos en cuenta 25, 7 y 10 artículos, respectivamente.

No obstante, aun cuando la frecuencia de citación superior o igual al 44% es el criterio de selección, de acuerdo con lo mencionado en el apartado *"6.1.3. Revisión percepción social de la sustentabilidad de procesos industriales"* del presente documento, las variables escogidas para la percepción social son aquellas que se repiten en dos (02) o más artículos, puesto que únicamente existen 10 documentos. Así las cosas, para las variables resultantes de la revisión de percepción social, la frecuencia de citación debe ser igual o superior al 20%.

Adicionalmente, en la tabla 12 las variables se encuentran asociadas a la ecuación de sustentabilidad, de acuerdo con los capitales que conforman la misma: KM = Capital hecho por el hombre por bienes producidos, KH = Capital humano, KN = Recursos naturales y KS = Interacciones entre las personas, instituciones y el gobierno (Pearce & Atkinson, 1998).

Tabla 12. Variables escogidas dentro del modelo por su frecuencia de citación. Elaboración propia.

No.	Variable	QA GR	QA SI	QA PS	Frec. GR	Frec. SI	Frec. PS	Frec. total	Capital Sustentab. Asociado
1	Demanda de agua de la industria		7			100%		**100%**	KN
2	Carga contaminante		7			100%		**100%**	KN
3	Calidad del agua		7			100%		**100%**	KN
4	Agua con los requisitos de calidad		7			100%		**100%**	KN
5	Tratamiento de aguas		7			100%		**100%**	KN
6	Cantidad de reducción de residuos **Adaptación:** Cantidad reducción carga contaminante en vertimientos		6			86%		**86%**	KN
7	Demanda **Adaptación:** Demanda de cuero	6	4		24%	57%		**81%**	KM
8	Producción de la industria	6	4		24%	57%		**81%**	KM
9	Percepción social sobre el impacto ambiental negativo			6			60%	**60%**	KN
10	Desarrollo socio-económico			6			60%	**60%**	KS
11	Generación de empleo y bienestar económico local			5			50%	**50%**	KS
12	PIB	11			44%			**44%**	KM
13	Cantidad de residuos generados **Adaptación:** Cantidad de vertimientos generados	11			44%			**44%**	KN
14	Presión para reducir las emisiones Adaptación: Presión para reducir la contaminación			4			40%	**40%**	KS
15	Ventas	4	2		16%	29%		**45%**	KM
16	Cohesión social			3			30%	**30%**	KS
17	Patologías sociales			3			30%	**30%**	KS
18	Equidad y diversidad			3			30%	**30%**	KS
19	Mejora de infraestructura y servicios públicos			3			30%	**30%**	KS
20	Legalidad de las curtiembres			2			20%	**20%**	KS
21	Interés en sustentabilidad por parte de las empresas			2			20%	**20%**	KS
22	Responsable del problema medioambiental			2			20%	**20%**	KS
23	Seguridad y salud ocupacional			2			20%	**20%**	KS
24	Capacitación / Educación			2			20%	**20%**	KH
25	Salud			2			20%	**20%**	KH
26	Sentido de pertenencia con San Benito			2			20%	**20%**	KH
27	Patrimonio histórico y cultural			2			20%	**20%**	KH
	Total de artículos por revisión:	**25**	**7**	**10**					

Vale la pena indicar, que las variables correspondientes a la tendencia poblacional identificadas en la revisión de la gestión de residuos; es decir, las variables:

población, nacimientos, muertes, tasa de natalidad, índice y tasa de mortalidad, emigración, inmigración; no fueron tenidas en cuenta, debido a que conforme a lo expuesto en el apartado *"5.1. Descripción del lugar de investigación – industria de curtiembres de San Benito"* del presente documento, la tendencia poblacional de la localidad de Tunjuelito permanece estática; por consiguiente, no se consideran datos variables y no afectan el comportamiento del modelo (Ambiente, 2007).

A continuación, en la figura 9 se realiza un mapa conceptual, mediante el que se organizan las variables conforme a las cuatro dimensiones o capitales que evalúan la sustentabilidad débil:

KM = Capital hecho por el hombre mediante bienes producidos (Pearce & Atkinson, 1998)
KH = Capital humano (Pearce & Atkinson, 1998)
KN = Recursos naturales (Pearce & Atkinson, 1998)
KS = Capital social: interacciones entre las personas, instituciones y el gobierno (Pearce & Atkinson, 1998)

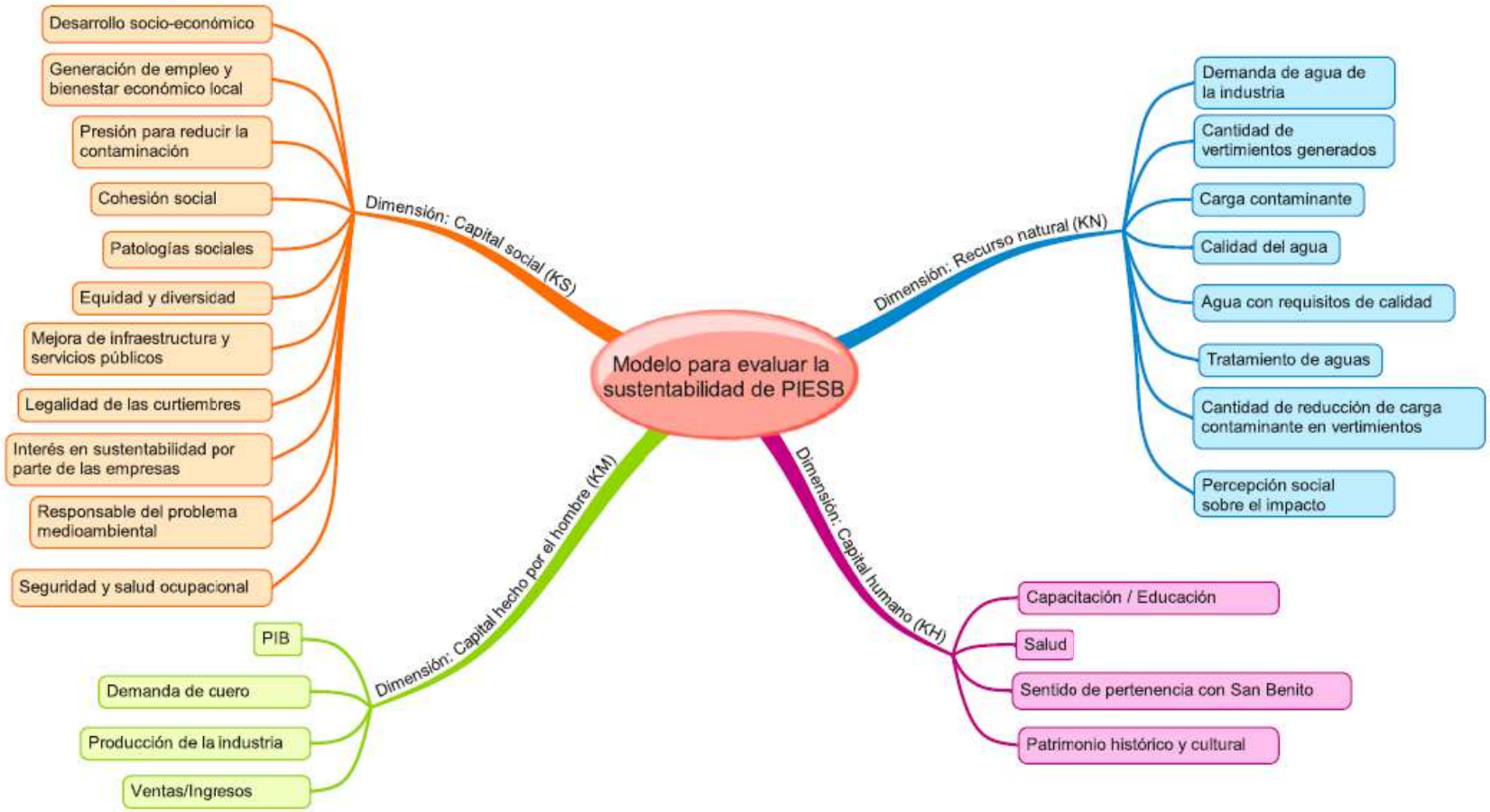


Figura 9. Modelo conceptual de variables escogidas según las dimensiones de la sustentabilidad. Elaboración propia.

6.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DINÁMICO

6.2.1. Encuesta semiestructurada

A continuación, en las tablas de la 13 a la 17, se relacionan las preguntas escogidas para realizar la encuesta de percepción social para este documento, por categoría. Vale la pena indicar, que únicamente para la caracterización socio-demográfica, las preguntas serán abiertas o cerradas con varias opciones de respuesta; sin embargo, para cada uno de los capitales de sustentabilidad, la escala escogida es Likert conforme se especificó en los resultados de percepción social del objetivo 1 del presente documento; la cual consiste en una calificación que el encuestado selecciona, de acuerdo con su nivel de afinidad con respecto a la pregunta o afirmación: muy de acuerdo, de acuerdo, neutral, en desacuerdo, muy en desacuerdo. En el anexo 2 del presente documento, se encuentra la encuesta semiestructurada.

Tabla 13. Preguntas de la encuesta percepción social – categoría información general. Elaboración propia.

Caracterización socio-demográfica			
No.	**Preguntas**	**Tipo pregunta**	**Opciones preguntas cerradas**
1	Edad	Abierta	
2	Género	Cerrada	Masculino, Femenino, Otro.
3	Ocupación	Cerrada	Independiente, Empleado, Desempleado, Pensionado, Ama de casa, Estudiante, Otro.
4	¿Trabaja en curtiembres?	Cerrada	Sí, No.
5	Nivel educativo	Cerrada	Ninguna, Primaria, Secundaria, Profesional, Post-Grado.
6	Lugar de nacimiento	Abierta	
7	¿Vive en San Benito?	Cerrada	Sí, No.
8	Si usted vive en San Benito, ¿cuánto tiempo lleva residiendo en el barrio?	Abierta	

Tabla 14. Preguntas de la encuesta percepción social – categoría capital recursos naturales (KN). Elaboración propia.

Recursos naturales (KN)		
No.	**Preguntas**	**Autores revisión**
10	La industria de curtiembres de San Benito genera un impacto ambiental negativo.	1. (Vatalis, 2010) 2. (Cossío Campeán et al., 2016) 3. (Matlaba et al., 2017) 4. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018) 5. (Sánchez-Arias et al., 2019) 6. (Alrashoud & Tokimatsu, 2020)

Tabla 15. Preguntas de la encuesta percepción social – categoría capital social (KS). Elaboración propia.

Capital social: interacciones entre las personas, instituciones y el gobierno (KS)		
No.	**Preguntas**	**Autores revisión**
11	La industria de curtiembres de San Benito contribuye al desarrollo socio-económico local, atrayendo inversión en el barrio y generando nuevas oportunidades de negocio	1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Vatalis, 2010) 3. (Cossío Campeán et al., 2016) 4. (Choumert-Nkolo, 2018) 5. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018) 6. (Alrashoud & Tokimatsu, 2020)
12	La industria de curtiembres fomenta la creación de empleo para la población local, generando la principal fuente de ingresos y beneficiando a un gran número de habitantes.	1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Cossío Campeán et al., 2016) 3. (Matlaba et al., 2017) 4. (Sajid & Lynch, 2018) 5. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018)
13	La industria de curtiembres involucra a la comunidad y a las partes interesadas en las soluciones a los problemas originados por las actividades de la empresa, fomentando la cohesión social.	1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Cossío Campeán et al., 2016) 3. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018)
14	La industria de curtiembres incrementa las patologías sociales, disminuyendo la tranquilidad, aumentando el hacinamiento, fomentando el aumento de robos y delincuencia, originando impactos sociales negativos.	1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018) 3. (Alrashoud & Tokimatsu, 2020)
15	La industria de curtiembres brinda oportunidades de empleo iguales (no discriminación según el género, la raza, color, religión, origen de nacimiento y cultura)	1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Choumert-Nkolo, 2018) 3. (Sajid & Lynch, 2018)
16	La industria de curtiembres ha contribuido en mejorar la infraestructura del barrio y la provisión de servicios públicos.	1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Matlaba et al., 2017) 3. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018)
17	La industria de curtiembres vincula legalmente a sus trabajadores, es libre de trabajo infantil y las empresas que la conforman se encuentran legalmente constituidas.	1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Sajid & Lynch, 2018)
18	La industria de curtiembre se interesa en incrementar la sustentabilidad conociendo el impacto de sus actividades en la vida de la comunidad, tomando acciones correctivas y preventivas a posibles impactos negativos y utilizando productos ecológicos.	1. (Cossío Campeán et al., 2016) 2. (Sajid & Lynch, 2018)
19	La responsabilidad de los problemas medioambientales de San Benito se debe a: a) La industria de curtiembres. b) Las autoridades gubernamentales de control.	1. (Vatalis, 2010) 2. (Sánchez-Arias et al., 2019)
20	La industria de curtiembres posee prácticas de seguridad y salud ocupacional, suministrando a sus empleados las herramientas y equipo de trabajo necesarios.	1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Sajid & Lynch, 2018)

Tabla 16. Preguntas de la encuesta percepción social – categoría capital recursos naturales (KN). Elaboración propia.

Capital humano (KH)		
No.	**Preguntas**	**Autores revisión**
21	La industria de curtiembres contribuye a la educación, al desarrollo de carrera y proporciona a sus trabajadores capacitación con el fin de que tengan altos niveles de calificación.	1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018)
22	La industria de curtiembres le ha generado problemas en su salud, por la cercanía de su vivienda a ésta	1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Sajid & Lynch, 2018)

Capital humano (KH)		
No.	**Preguntas**	**Autores revisión**
23	La industria de curtiembres hace que usted se sienta orgulloso(a) de pertenecer a San Benito y mejora la imagen y paisaje del barrio.	1. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018) 2. (Sánchez-Arias et al., 2019)
24	La industria de curtiembres fortalece el patrimonio histórico y cultural de San Benito.	1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018)

Tabla 17. Pregunta de la encuesta percepción social – categoría percepción del parque industrial eco-eficiente en San Benito, conforme los capitales. Elaboración propia.

Percepción del Parque Industrial Ecoeficiente en San Benito			
No.	**Aspectos encuesta / Preguntas**	**Tipo pregunta**	**Opciones preguntas cerradas / Likert**
25	La implementación de un Parque Industrial Ecoeficiente para las curtiembres en San Benito: a) Se encuentra informado(a) b) Disminuiría el impacto ambiental negativo de las curtiembres. c) Fortalecería el desarrollo socio-económico y generación de empleos local, la cohesión social e inclusión, la legalidad, el interés por la sustentabilidad y a su vez disminuiría las patologías sociales. d) Incrementaría la educación y capacitación, su sentido de pertenencia con San Benito, el patrimonio histórico y cultural y a su vez disminuiría la generación de problemas de salud.	Likert	Muy de acuerdo, De acuerdo, Neutral, En desacuerdo, Muy en desacuerdo.

Luego de realizar la aplicación del instrumento de encuesta, mediante la plataforma de Google Forms, se eliminaron aquellas para las cuales la respuesta del encuestado fue que NO vive en San Benito. Es decir, que de 106 personas que respondieron la encuesta, 9 de ellas indicaron que no viven en el barrio; por consiguiente, sus respuestas no serán incluidas dentro del diagnóstico del sistema, únicamente se tendrán en cuenta 97 respuestas, completando así el tamaño de muestra calculado en el capítulo correspondiente a la metodología del presente documento, en el que se determinó que es necesario realizar 94 encuestas.

6.2.2. Construcción del diagrama Causal

En virtud del resultado arrojado de las variables en el objetivo 1, es posible determinar mediante un diagrama causal, la interrelación de las variables, como se aprecia en la figura 10:

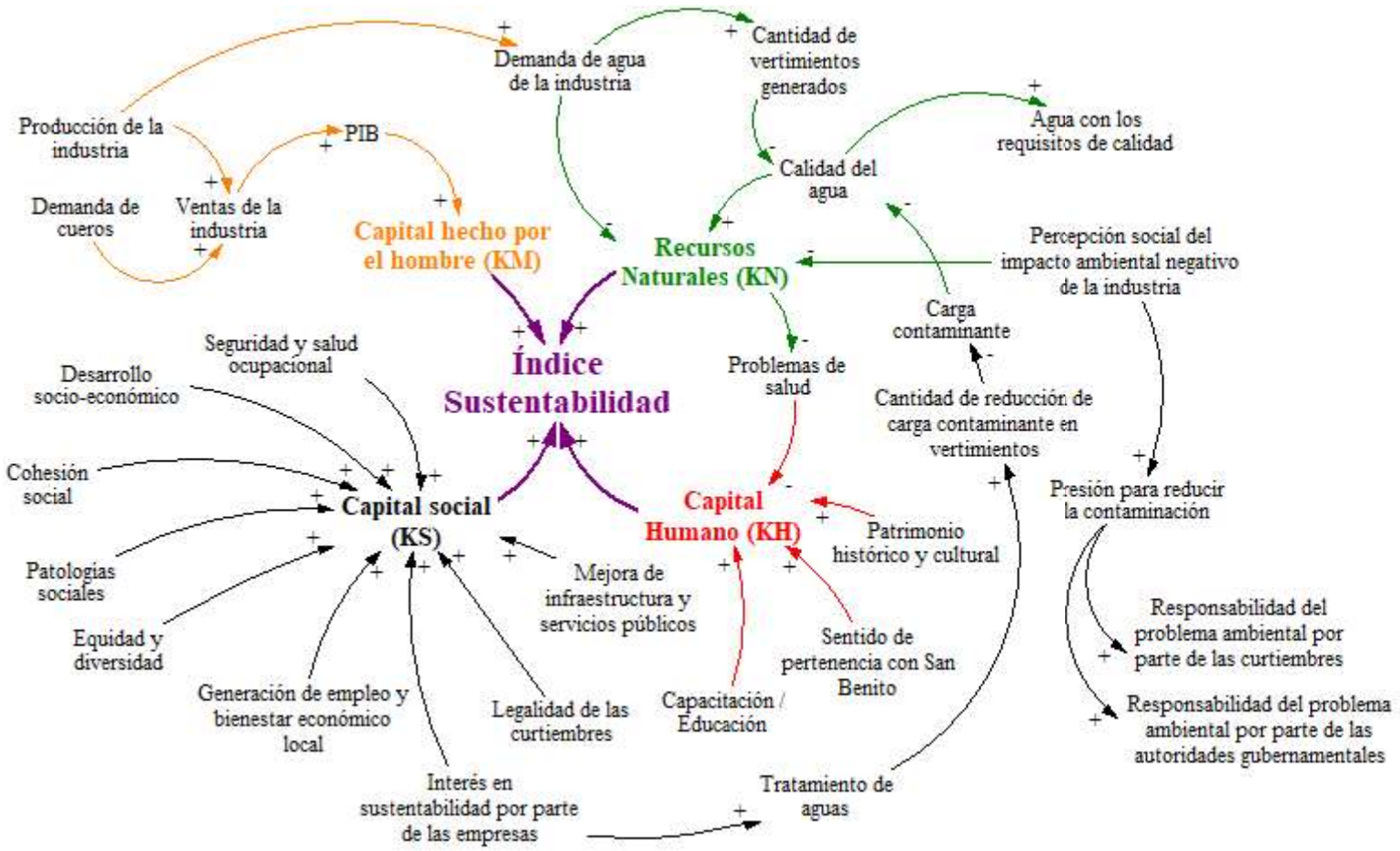


Figura 10. Diagrama causal para la evaluación de sustentabilidad de la industria de curtiembres. Fuente: Elaboración Propia.

6.2.3. Diagnóstico del sistema

Este apartado tiene como objeto determinar el comportamiento de las variables, con el fin de poderlas modelar en el diagrama de Forrester.

6.2.3.1. PIB

El DANE presenta el PIB a precios constantes trimestralmente por agrupaciones; por consiguiente, realizando el consolidado por año, se obtienen los valores registrados en la tabla 18, desde el año 2005 hasta el año 2020:

Tabla 18. PIB – Producto Interno Bruto nacional anual. Elaboración propia. Fuente DANE.

Año	PIB Valor en miles de millones de pesos		Año	PIB Valor en miles de millones de pesos	
2005	$	476.321,00	2013	$	677.006,00
2006	$	506.025,00	2014	$	708.133,00
2007	$	537.235,00	2015	$	730.543,00
2008	$	554.449,00	2016	$	746.534,00
2009	$	560.896,00	2017	$	756.240,00
2010	$	583.403,00	2018	$	775.120,00
2011	$	619.713,00	2019	$	799.661,00
2012	$	643.093,00	2020	$	743.773,26

Así las cosas, al realizar las pruebas de bondad de ajuste Chi Cuadrado, Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling para conocer el comportamiento de esta variable, en la figura 11 es posible evidenciar que con un nivel de significancia de 0.05, este comportamiento corresponde a una distribución uniforme, de acuerdo con los valores-p arrojados por las pruebas.

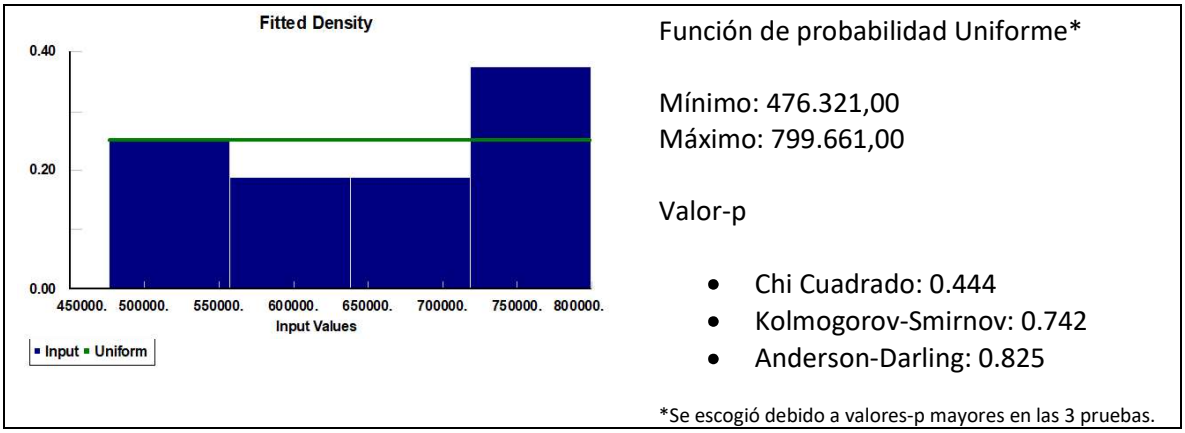


Figura 11. Función de densidad de probabilidad uniforme en la variable PIB. Elaboración propia.

Con el fin de presentar concordancia con el resto de variables, que el DANE presenta en miles de pesos; los valores mínimo y máximo de la función se ingresarán al modelo de Forrester en miles de pesos; es decir: valor mínimo 476.321.000.000,00 y valor máximo 799.661.000.000,00

6.2.3.2. Demanda de cuero

Esta variable en la estructura del modelo tiene dos componentes: el cuero destinado para calzado y el cuero para la fabricación de marroquinería y otras manufacturas en cuero, por lo tanto, la demanda total dependerá del comportamiento de estos grupos industriales (BOGOTÁ et al., 2010).

Para entender el comportamiento de este eslabón es necesario sumar las dos variables de estado: “Cuero para la fabricación de calzado” y “Cuero para la fabricación de marroquinería y manufacturas en cuero”, ya que debido a las fluctuaciones en el tiempo cada una de ellas, éstas poseen un comportamiento propio. Dicho comportamiento, depende de la información histórica disponible en la Encuesta Anual Manufacturera realizada por el DANE.

6.2.3.2.1. Nivel: Cuero para calzado

Esta variable de nivel se encuentra alimentada por la variable de flujo “Comportamiento de la demanda de calzado”, la cual puede ser positiva o negativa; permitiendo acumular o disminuir los resultados del pasado. La demanda inicial del modelo, corresponde a las ventas totales del año 2019 de los cueros vacunos multiplicados por 50.4% (Ministerio de Ambiente, 2006), que es la participación del calzado en las ventas de la industria curtidora. Vale la pena indicar, que el DANE no ha subido la Encuesta Anual Manufacturera para el año 2020; por consiguiente, se utilizarán los datos del año 2019.

El DANE presenta la cifra por decímetros cuadrados totales vendidos durante el año 2019 para el cuero vacuno (Encuesta Anual Manufacturera – Anexo desagregado

6.2 *"Colombia. Producción y ventas de artículos durante el año y existencias de productos terminados a 31 de diciembre"*), la cifra asciende a 208.860.516 d^2. Teniendo en cuenta, además, que una piel grande tiene aproximadamente 400 d^2 (Quiroga Tapias & Maldonado Carrillo, 2007), y que luego de que el cuero ya ha sido tratado, una piel grande pesa aproximadamente 9 kilos (C. N. d. P. m. Limpia, 2004a).

A continuación, se explicará cómo fue calculada la demanda inicial para el calzado:

Inicialmente se calcula la demanda inicial de cuero de acuerdo con la cantidad de cuero vacuno vendida, para el año 2019:

$$Kg\ demanda\ inicial\ cuero_{2019} = 208.860.516 d^2 * \frac{piel}{400\ d^2} * \frac{9\ kg}{piel} = 4.699.361{,}61 kg = 4{,}7\ Tn$$

Posteriormente, es necesario conocer la demanda inicial de cuero para el año 2020; por consiguiente, de acuerdo con la Encuesta Mensual Manufacturera con Enfoque Territorial – EMMET del DANE, la variación anual (%) de las ventas reales corresponde a 25,5% para la clase industrial con dominio 1511 "Curtido y recurtido de cueros; recurtido y teñido de pieles". Así las cosas, la demanda inicial de cuero con corte a diciembre de 2020, es la siguiente:

$$Kg\ demanda\ inicial\ cuero_{2020} = 4.699.361{,}61\ kg * (1 + 25{,}5\%) = 5.897.698{,}821\ kg = 5.8\ Tn$$

Ahora, teniendo en cuenta que la participación de calzado es del 50.4% y la participación de Bogotá es del 71% de la producción nacional, la demanda inicial estimada de calzado para el año 2020 es la siguiente:

$$Kg\ demanda\ inicial\ calzado_{2020} = 5.897.698{,}821\ kg * 50{,}4\% * 71\% = 2.110.432{,}546\ kg$$

Así pues, el valor inicial de este nivel es de **2,1 Tn** de cuero curtido.

6.2.3.2.1.1. Flujo: Comportamiento calzado

Esta variable de flujo alimenta a la variable de nivel "Cuero para calzado"; es una variable que posee un multiplicador probabilístico "%variación demanda de calzado", la cual posee toda la información de las fluctuaciones en la producción de

calzado. La ecuación del flujo “Comportamiento de la demanda de calzado” es la siguiente:

$$Comportamiento\ de\ la\ demanda\ de\ calzado = \langle \%variación\ demanda\ de\ calzado \rangle * \langle Cuero\ para\ calzado \rangle$$

Debido a lo anterior, es necesario explicar el comportamiento de la variable “%variación demanda de calzado” para comprender la dinámica del eslabón. Este porcentaje de variación depende, en esencia, de información histórica; para este caso, el DANE cuenta con la información a continuación expuesta, la cual se encuentra en la siguiente la ruta de acceso:1. Ingresar a la página www.dane.gov.co → 2. Estadística por tema → 3. Industria → 4. Encuesta Anual Manufacturera EAM → 5. Información Histórica; posterior a ello, para cada año están disponibles los documentos para prensa y los anexos, que en lo que a este apartado respecta son los necesarios para obtener la información precisa.

Esta variable, como se dijo anteriormente es de tipo probabilístico, por lo que es necesario conocer el comportamiento de producción de calzado en Bogotá, ya que es esta la demanda de las curtiembres de San Benito; por lo tanto, la información idónea es la producción bruta expresada en precios constantes para el grupo industrial llamado “Fabricación de calzado y sus partes, excepto de caucho o de plástico” identificado con el código de Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) número 324, vigente desde el año 1992 hasta el año 1999; a partir de este año este CIIU cambió a 192 y a partir de 2013 cambió a 152.

Adicional a ello, el anexo correspondiente a esta información es, desde 1992 a 1999, el archivo con nombre C2-año; por ejemplo, si se quiere conocer la producción bruta en el año 1993, el archivo aparecerá dentro del anexo correspondiente al año 1993 con el nombre C2-93; sin embargo, desde el año 2000, el anexo correspondiente es el archivo con nombre C3_9_año o C39año. En la tabla 19 se observa el histórico de datos de producción bruta de calzado en la ciudad de Bogotá D.C. expresada en miles de pesos constantes.

Tabla 19. Producción Bruta para la fabricación de calzado. Elaboración propia. Fuente DANE.

Año	Producción bruta (en miles de pesos)	Año	Producción bruta (en miles de pesos)	Año	Producción bruta (en miles de pesos)
1992	$ 90.966.728,00	2002	$ 90.110.827,00	2012	$ 248.088.536,00
1993	$ 75.013.328,00	2003	$ 132.326.324,00	2013	$ 236.481.711,00
1994	$ 130.516.188,00	2004	$ 147.026.863,00	2014	$ 273.899.268,00
1995	$ 76.973.760,00	2005	$ 167.376.617,00	2015	$ 273.276.244,00
1996	$ 68.176.728,00	2006	$ 192.800.074,00	2016	$ 352.395.762,00
1997	$ 78.823.284,00	2007	$ 212.728.360,00	2017	$ 308.663.056,00
1998	$ 69.336.548,00	2008	$ 204.986.625,00	2018	$ 267.353.749,00
1999	$ 59.083.290,00	2009	$ 223.249.040,00	2019	$ 235.898.435,00
2000	$ 81.062.994,00	2010	$ 241.537.994,00		
2001	$ 75.984.541,00	2011	$ 289.459.424,00		

En la figura 12, se visualiza la variación porcentual de la producción de calzado con respecto al año anterior, por ejemplo, para el año 1993 la producción bruta disminuyó en un 17.5% con respecto a 1992.

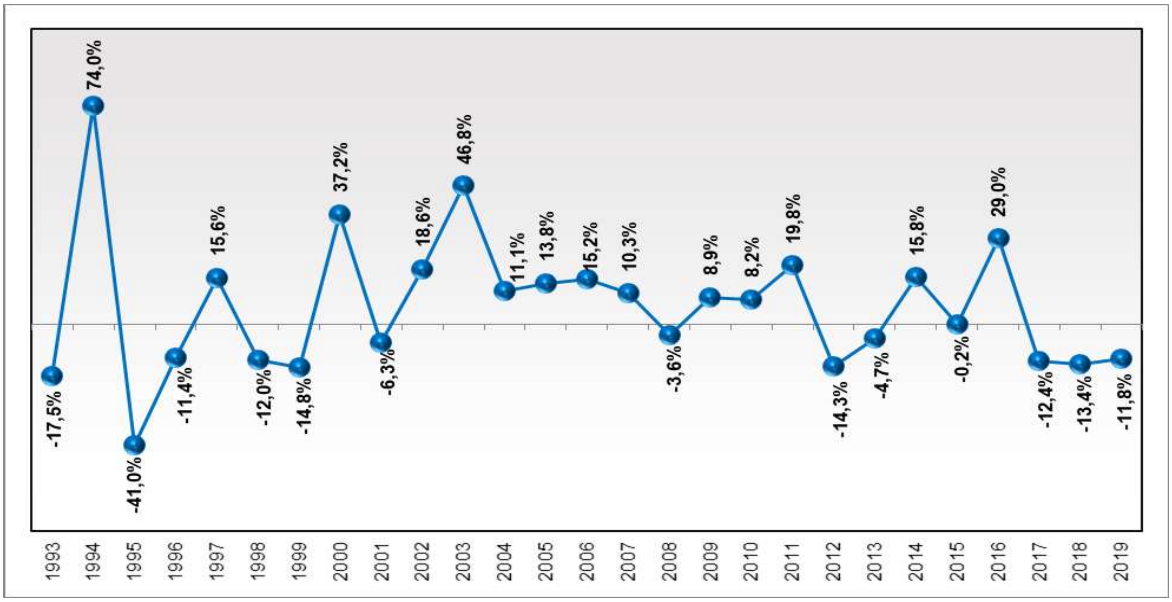


Figura 12. Variación porcentual de la producción bruta de calzado en Bogotá D.C. Elaboración propia. Fuente DANE.

Debido a que interesa el comportamiento o la variación porcentual con respecto al año anterior, se realizó el análisis de estos datos en StatFit, por lo que se concluye que la variable "% variación demanda calzado" obedece a una distribución Normal, luego de realizar las pruebas de bondad de ajuste Chi Cuadrado, Kolmogorov-

Smirnov y Anderson-Darling. En la figura 13, es posible ver el histograma con la información correspondiente a los valores-p de las pruebas de bondad de ajuste, teniendo en cuenta que el nivel de significancia es de 0.05.

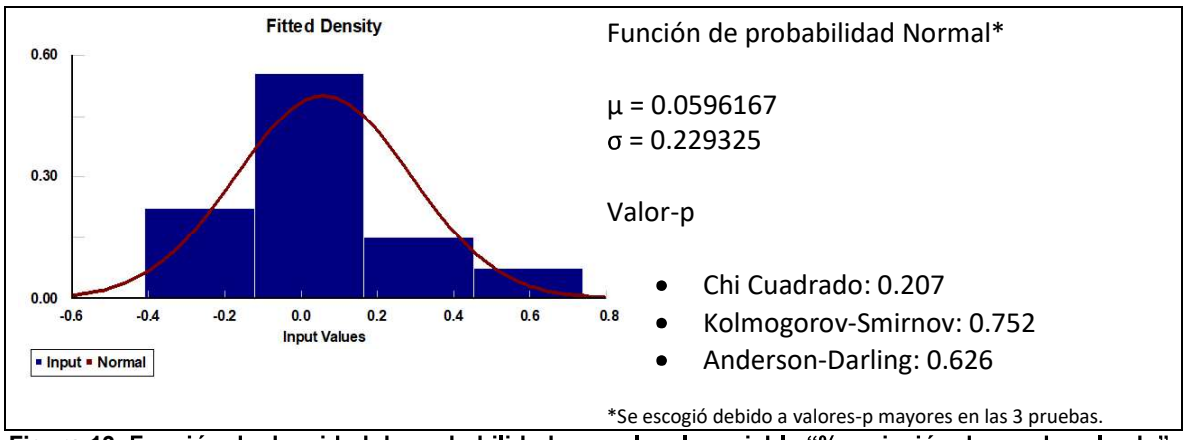


Figura 13. Función de densidad de probabilidad normal en la variable "% variación demanda calzado". Elaboración propia.

Así, el multiplicador "% variación demanda de calzado" genera números aleatorios que obedecen a una función de probabilidad normal con media de 0.0596167 y desviación estándar de 0.229325.

6.2.3.2.2. Nivel: Cuero para marroquinería y manufacturas en cuero

El otro componente del eslabón demanda del modelo, es el cuero demandado para fabricar productos de marroquinería y otras manufacturas en cuero como vestuario y protección personal. Esta variable se alimenta por el flujo "Comportamiento demanda de marroquinería y manufacturas en cuero", el cual, tal y como el comportamiento de la demanda para calzado, es una variable que puede tomar valores tanto negativos como positivos, por lo que el nivel puede aumentar o disminuir en los períodos de tiempo.

El valor inicial para esta variable de estado es similar al del calzado, sólo varía el porcentaje de participación; en este caso es de 49.6%, por lo que se define como sigue:

$$Kg\ demanda\ inicial\ marroquineria\ otros_{2020} = 5.897.698{,}821\ kg * 49{,}6\% * 71\%$$
$$= 2.076.933{,}617\ kg = 2{,}1\ Tn$$

De esta manera, el valor inicial de este nivel es de **2,1 Tn** de cuero curtido.

6.2.3.2.2.1. Flujo: Comportamiento marroquinería y otras manufacturas

Esta variable alimenta al nivel "Cuero para la fabricación de marroquinería y manufacturas en cuero" descrita anteriormente. La ecuación de esta variable es la siguiente:

$$Comp.marroquinería\ y\ otros = \langle \%\ variación\ demanda\ marroquinería\ y\ otros \rangle * \langle Cuero\ para\ fab.marroq \rangle$$

Así como la variable "Comportamiento de la demanda de calzado", en el caso de marroquinería y manufacturas en cuero, el multiplicador es la variable "% variación demanda de marroquinería y manufacturas en cuero". Los datos históricos para conocer el comportamiento de la variación de este multiplicador se encuentran, siguiendo la ruta de enlace que lleva a la Encuesta Anual Manufacturera - EAM, con la diferencia de que para estos productos la información pertinente es la que se encuentra en el archivo 6_2_año o 60año, el cual apareció por primera vez dentro de los anexos en el año 2000; es decir, solamente se cuenta con información desde el 2000 hasta el 2019 y se cuenta con información de todo el país; sin embargo, para el caso de la marroquinería y las otras manufacturas, no existe una aglomeración como en el calzado específica en Bogotá, por lo que se asume que la demanda se encuentra en todo el país; así que se evaluará el comportamiento nacional dentro de este período de tiempo.

Así las cosas, los productos cuentan con una Clasificación Central de Productos o código C.P.C., la cual fue actualizada para el año 2013. En la tabla 20 se especifican los productos que pertenecen tanto a la marroquinería como a otros productos de cuero:

Tabla 20. Código C.P.C y su descripción de los productos pertenecientes a marroquinería y otras manufacturas en cuero. Elaboración propia. Fuente DANE.

No.	Código C.P.C. hasta 2012	Código C.P.C. desde 2013	Artículos
1	28241011	2824101	Vestidos de cuero
2	28241038	2824103	Chalecos de cuero
3	28241089		Prendas de vestir n.c.p de cuero
4	28241097	2824107	Faldas de cuero
5	28241101	2824108	Pantalones de cuero
6	28241119	2824109	Chaquetas de cuero
7	28241127	2824110	Vestuario industrial de cuero

No.	Código C.P.C. hasta 2012	Código C.P.C. desde 2013	Artículos
8	28242018	2824201	Cinturones de cuero
9	28242026	2824202	Guantes de cuero
10	29221014	2922101	Carteras y bolsos de cuero
11	29221022	2922102	Billeteras, portachequeras y similares de cuero
12	29221031	2922103	Niqueleras, cigarrilleras y similares de cuero
13	29221049	2922104	Llaveros de cuero
14	29221057	2922105	Maletas de cuero
15	29221065	2922106	Maletines de cuero
16	29221073	2922107	Portafolios de cuero
17	29221081	2922108	Neceseres de cuero
18	29221090	2922109	Bolsas, tulas de cuero
19	29221103	2922110	Portavestidos en cuero
20	29221111	2922111	Estuches, costureros y similares de cuero
21	29221120	2922112	Fundas de cuero para herramientas y cuchillos
22	29290024	2929002	Correas de transmisión de cuero
23	29290032	2929003	Arandelas y otros empaques de cuero
24	29290067	2929099	Artículos n.c.p de cuero
25	29290075	2929005	Objetos de adorno de cuero
26	29290105	2929008	Marquillas de cuero
27	29290121	2929010	Artículos de cuero para protección personal
28	29290130	2929011	Artículos de cuero para protección industrial
29	32600026	3270102	Agendas y similares con cubierta de cuero
30		2929006	Cinturones de cuero para seguridad industrial

Luego de la identificación de todos los productos pertenecientes a este componente del eslabón de la demanda, es necesario conocer el valor total de producción. Los datos históricos se pueden visualizar en la tabla 21 y el comportamiento de la variación de estos datos se puede observar en la figura 14 como sigue:

Tabla 21. Histórico de datos del valor de la producción nacional de los productos de marroquinería y otras manufacturas en cuero. Elaboración propia. Fuente DANE.

Año	Producción Valor Total (En miles de pesos)	Año	Producción Valor Total (En miles de pesos)	Año	Producción Valor Total (En miles de pesos)
2000	$ 90.853.536,00	2007	$ 197.002.797,00	2014	$ 276.875.692,00
2001	$ 104.250.628,00	2008	$ 199.316.138,00	2015	$ 261.295.716,00
2002	$ 115.829.009,00	2009	$ 171.138.680,00	2016	$ 284.022.882,00
2003	$ 109.798.670,00	2010	$ 208.871.818,00	2017	$ 278.805.009,00
2004	$ 149.692.116,00	2011	$ 220.934.590,00	2018	$ 287.204.592,00
2005	$ 165.941.000,00	2012	$ 242.720.032,00	2019	$ 293.334.449,00
2006	$ 170.701.607,00	2013	$ 282.490.617,00		

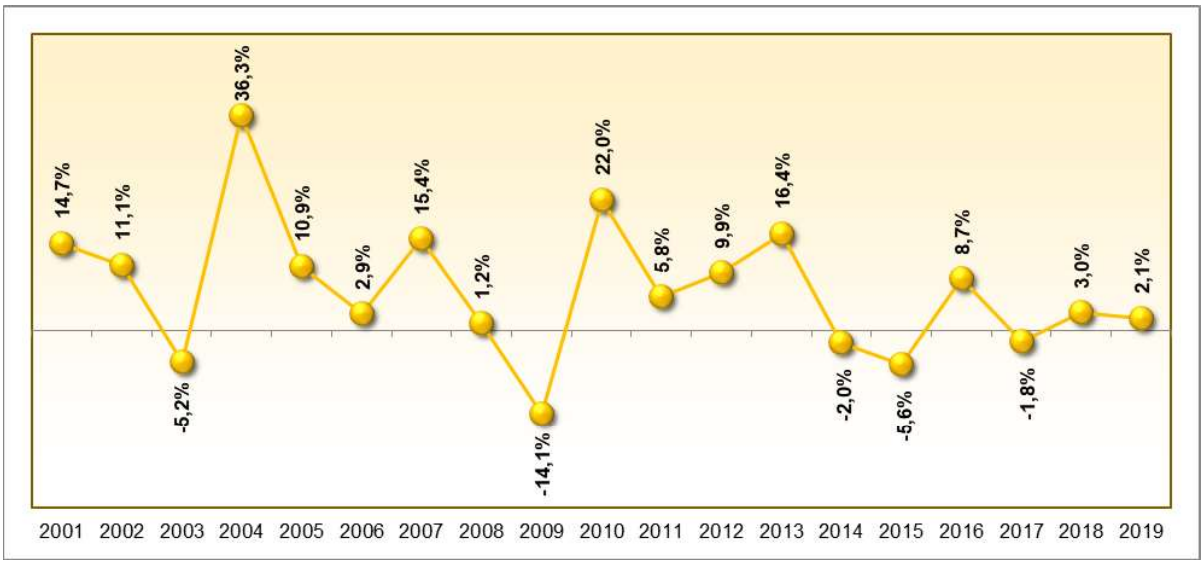


Figura 14. Variación porcentual de la producción nacional de los productos de marroquinería y otras manufacturas en cuero. Elaboración propia. Fuente DANE.

Debido a que interesa el comportamiento o la variación porcentual con respecto al año anterior, se realizó el análisis de estos datos en StatFit, por lo que se concluye que la variable "% variación demanda de marroquinería y manufacturas en cuero" obedece a una distribución Normal, luego de realizar las pruebas de bondad de ajuste Chi Cuadrado, Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling. En la figura 15, se podrá ver el histograma con la información correspondiente a los valores-p de las pruebas de bondad de ajuste, teniendo en cuenta que el nivel de significancia es de 0.05.

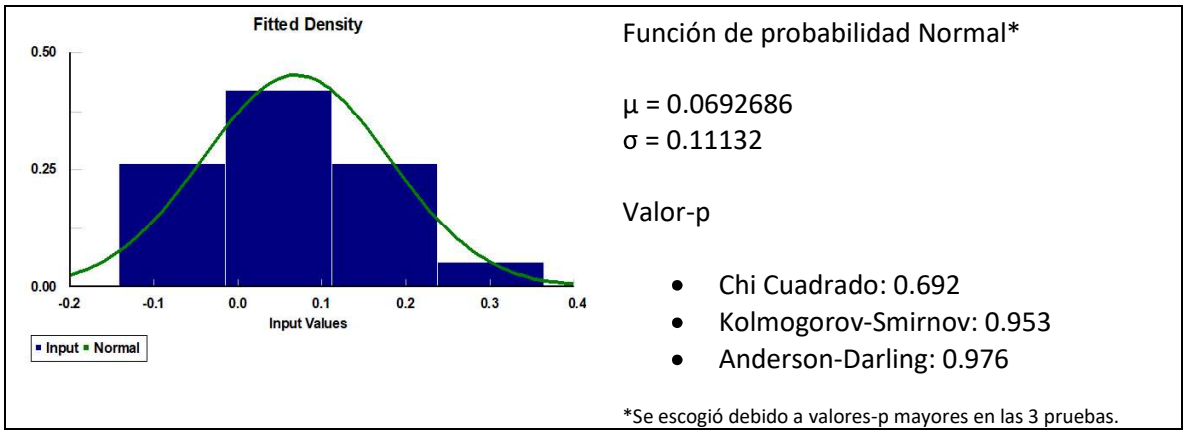


Figura 15. Función de densidad de probabilidad normal en la variable "% variación demanda de marroquinería y manufacturas en cuero". Elaboración propia

De esta manera, el multiplicador "% variación demanda de marroquinería y manufacturas en cuero" genera números aleatorios que obedecen a una función de probabilidad normal con media de 0.0692686 y desviación estándar de 0.11132.

6.2.3.3. Nivel: Producción de la industria

Es posible determinar el comportamiento de la producción de la industria, revisando las estadísticas del DANE en su apartado 6_2 para cantidad de producción en decímetros cuadrados de cuero vacuno. Es necesario recordar que una piel grande tiene aproximadamente 400 d^2 (Quiroga Tapias & Maldonado Carrillo, 2007), y que luego de que el cuero ya ha sido tratado, una piel grande pesa aproximadamente 9 kilos (C. N. d. P. m. Limpia, 2004a); así las cosas, el valor en kilogramos será el resultante de multiplicar por la relación: $9\,kg/400\,d^2$. Adicionalmente, la participación en la producción nacional es del 71% (Ministerio de Ambiente, 2006). En la tabla 22 se registra el histórico de la producción de la industria:

Tabla 22. Histórico de datos del valor de la producción nacional cuero curtido vacuno. Elaboración propia. Fuente DANE.

Año	Producción de cuero vacuno (d^2)	Producción de cuero vacuno (kg)	Producción Bogotá (kg) Curtiembres San Benito	Producción Bogotá (Tn) Curtiembres San Benito
2000	477.060.509,00	10.733.861,45	7.621.041,63	7,6
2001	462.260.801,00	10.400.868,02	7.384.616,30	7,4
2002	441.417.776,00	9.931.899,96	7.051.648,97	7,1
2003	462.820.573,00	10.413.462,89	7.393.558,65	7,4
2004	531.133.420,00	11.950.501,95	8.484.856,38	8,5
2005	537.184.079,00	12.086.641,78	8.581.515,66	8,6
2006	680.428.594,00	15.309.643,37	10.869.846,79	10.9
2007	665.965.775,00	14.984.229,94	10.638.803,26	10,6
2008	872.349.612,00	19.627.866,27	13.935.785,05	13,9
2009	637.624.427,00	14.346.549,61	10.186.050,22	10,2
2010	541.476.670,00	12.183.225,08	8.650.089,80	8,7
2011	494.688.543,00	11.130.492,22	7.902.649,47	7,9
2012	389.435.377,00	8.762.295,98	6.221.230,15	6,2
2013	384.168.999,00	8.643.802,48	6.137.099,76	6,1
2014	478.792.409,00	10.772.829,20	7.648.708,73	7,6
2015	400.816.857,00	9.018.379,28	6.403.049,29	6,4
2016	351.284.333,00	7.903.897,49	5.611.767,22	5,6
2017	409.394.413,00	9.211.374,29	6.540.075,75	6,5
2018	308.893.246,00	6.950.098,04	4.934.569,60	4,9
2019	214.879.761,00	4.834.794,62	3.432.704,18	3,4

Para efectos del valor inicial de los kilogramos producidos en la variable de nivel, será tomado el valor del año 2019 **3,4 Tn**.

6.2.3.3.1. Flujo: Comportamiento de la producción de la industria

A partir del comportamiento de los datos históricos en la producción anual nacional del cuero curtido vacuno, en la figura 16 se muestra la variación porcentual entre un año y el anterior para esta variable en Bogotá; es decir que por ejemplo para el año 2001, la producción disminuyó en 3,1% con respecto a la cantidad del año 2000.

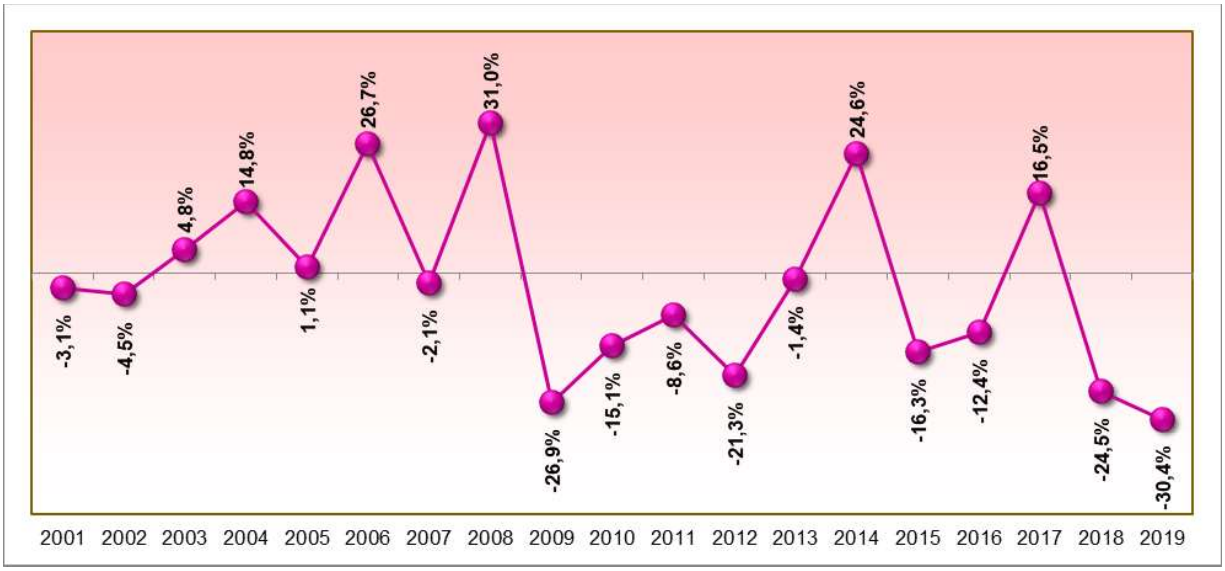


Figura 16. Variación porcentual de la producción nacional de cuero en Bogotá. Elaboración propia. Fuente DANE.

6.2.3.3.2. Auxiliar: Crecimiento industrial

Así las cosas, es posible entender la variación porcentual en la producción de un año con respecto al anterior como un crecimiento industrial cuando es positivo o disminución industrial cuando es negativo. De esta forma, al realizar las pruebas de bondad de ajuste Chi Cuadrado, Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling para conocer el comportamiento de esta variación porcentual, en la figura 17 es posible evidenciar que con un nivel de significancia de 0.05, este comportamiento corresponde a una distribución normal, de acuerdo con los valores-p arrojados por las pruebas.

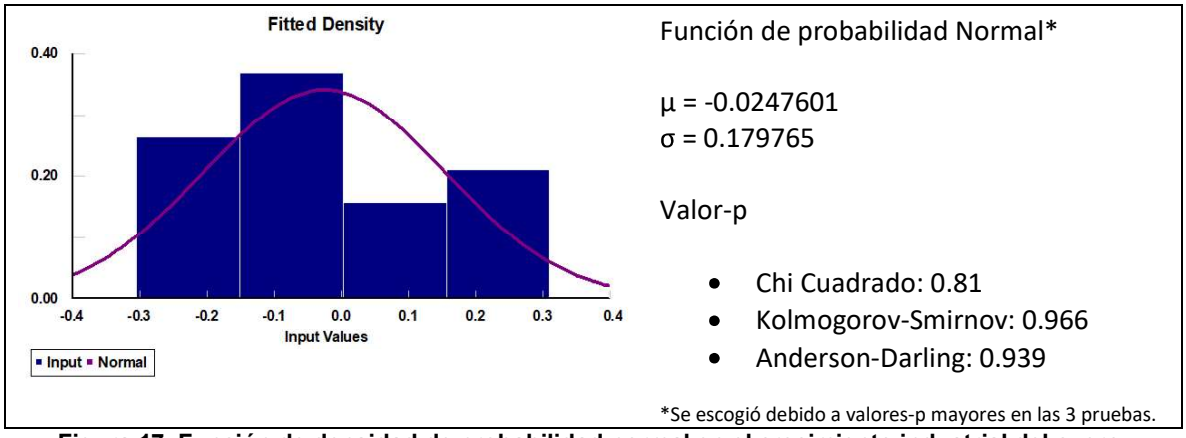


Figura 17. Función de densidad de probabilidad normal en el crecimiento industrial del cuero. Elaboración propia.

6.2.3.4. Auxiliar: Ventas

Esta variable depende de la menor entre las variables producción de cuero y demanda; de esta forma, si la demanda es menor se limitará a esta cantidad o si la producción para ese año es menor, la cantidad de cuero vendida será esta variable. Así las cosas, la variable cantidad vendida se encuentra determinada por la siguiente fórmula:

$$IF\ THEN\ ELSE(\ Demanda\ de\ cuero >= Producción\ de\ cuero, Producción\ de\ cuero, Demanda\ de\ cuero)$$

Adicionalmente, en la tabla 23 es posible calcular el precio aproximado por kilogramo de cuero, expresado en miles de pesos por año, realizando la división entre las ventas en miles de pesos y los kilogramos de producción de cuero vacuno. Lo cual permite realizar el cálculo del precio constante promedio por kilogramo, valor que asciende a $ 18,04 mil pesos.

Es importante mencionar, que el cálculo del precio aproximado por kg de cuero se realiza en precios constantes, debido a que el índice asociado a esta variable auxiliar, corresponde a la variación porcentual de la participación de la industria en el PIB nacional; por consiguiente, al agregar la inflación de los precios corrientes,

distorsiona la participación real de la industria por un aumento anual que corresponde a la inflación.

Tabla 23. Precio constante aproximado en miles de pesos por kilogramo. Elaboración propia. Fuente DANE.

Año	Producción de cuero vacuno (kg)	Ventas en miles de pesos	Precio cte en miles de pesos aproximado por kg de cuero
2000	10.733.861,45	$ 132.632.052,00	$ 12,36
2001	10.400.868,02	$ 160.155.260,00	$ 15,40
2002	9.931.899,96	$ 149.384.239,00	$ 15,04
2003	10.413.462,89	$ 169.046.816,00	$ 16,23
2004	11.950.501,95	$ 190.289.392,00	$ 15,92
2005	12.086.641,78	$ 182.233.903,00	$ 15,08
2006	15.309.643,37	$ 228.289.208,00	$ 14,91
2007	14.984.229,94	$ 247.677.145,00	$ 16,53
2008	19.627.866,27	$ 338.864.112,00	$ 17,26
2009	14.346.549,61	$ 240.800.795,00	$ 16,78
2010	12.183.225,08	$ 192.580.976,00	$ 15,81
2011	11.130.492,22	$ 192.031.738,00	$ 17,25
2012	8.762.295,98	$ 168.448.553,00	$ 19,22
2013	8.643.802,48	$ 187.010.596,00	$ 21,64
2014	10.772.829,20	$ 208.077.731,00	$ 19,32
2015	9.018.379,28	$ 182.336.187,00	$ 20,22
2016	7.903.897,49	$ 169.879.159,00	$ 21,49
2017	9.211.374,29	$ 164.207.816,00	$ 17,83
2018	6.950.098,04	$ 167.769.749,00	$ 24,14
2019	4.834.794,62	$ 136.975.760,00	$ 28,33
	Promedio de precio constante aproximado Miles de pesos por kg de cuero		**$ 18,04**

En virtud de lo anteriormente expuesto, la variable ventas se encuentra definida por la siguiente fórmula:

$$Ventas = Cantidad\ de\ cuero\ vendido * Precio\ constante\ cuero$$

6.2.3.5. Índice: Capital hecho por el hombre (KM)

Finalmente, teniendo la información de las ventas de la industria y el PIB nacional, es posible identificar la participación de la industria en el PIB. Por consiguiente, este índice corresponderá a la variación porcentual de la participación de la industria, conforme la siguiente ecuación:

$$Capital\ hecho\ por\ el\ hombre\ (KM)$$
$$= (Participación\ de\ la\ industria\ en\ el\ PIB\ nacional$$
$$- Participación\ de\ la\ industria\ en\ el\ PIB\ nacional\ año\ anterior)$$
$$/Participación\ de\ la\ industria\ en\ el\ PIB\ nacional\ año\ anterior$$

Por ejemplo, para el año 2028 se prevé que la participación de la industria en el PIB nacional sea de 0,0124605% y para el 2029, de 0,0160944%; por consiguiente, el capital hecho por el hombre para el año 2029 se calcula de la siguiente forma:

$$KM_{2029} = \frac{0{,}0160944\% - 0{,}0124605\%}{0{,}0124605\%} = 0{,}291635923$$

Es decir, que el capital hecho por el hombre para el año 2029 corresponderá a la variación porcentual positiva del 29,1%.

6.2.3.6. Auxiliar: Demanda de agua de la industria

De acuerdo con la revisión bibliográfica, se sabe que por cada 36 kg de cuero producido se consumen 0.769 m^3 de agua (C. N. d. P. M. Limpia, 2004). Por consiguiente, este será el valor de la demanda de agua por kilogramo producido de la industria. Es decir, que es una constante que asciende a 0,0213611 m^3/kg.

6.2.3.7. Auxiliar: Cantidad de vertimientos generados

Estará determinado por las variables producción de cuero y demanda de agua por kg de cuero, ya que el porcentaje de retención de agua en el cuero es mínimo; por consiguiente, se asume que el agua residual producida por la industria es prácticamente la misma cantidad demandada total (C. N. d. P. M. Limpia, 2004) y por consiguiente, la fórmula es la siguiente:

$$Cantidad\ de\ vertimientos\ generados$$
$$= Demanda\ de\ agua\ por\ kg\ cuero * Producción\ de\ cuero$$

Por ejemplo, si para el año 2019 la producción de cuero ascendió a 4.834.794,62 kg, fue necesario utilizar 103.276,6 m^3 de agua y, bajo el supuesto de la variable, se generaron la misma cantidad de metros cúbicos en vertimientos.

6.2.3.8. Auxiliar: Requisitos de calidad

De acuerdo con la información suministrada por la Secretaría Distrital de Ambiente en el apartado 5.1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN – INDUSTRIA DE CURTIEMBRES DE SAN BENITO del presente documento, conforme a lo dispuesto en la Resolución 1074 de 1997, en los niveles de DBO, DQO, Cromo y Sólidos Suspendidos Totales, tienen un límite permisible de 1000 mg/L, 2000 mg/L, 1mg/L y 800 mg/L respectivamente (Ambiente, 1997a). Cabe aclarar, que las medidas impuestas por la SDA generalmente son tratamientos primarios y por mucho secundarios que no son suficientes para alcanzar los límites permisibles, es decir, no reducen en gran medida los mg/L de los parámetros (Ministerio de Ambiente, 2006; ONUDI, 1994). Es necesario multiplicar por 1000 estas cantidades, debido a que dentro del modelo, las unidades de medida corresponden a metros cúbicos ($1m^3$=1000L)

6.2.3.9. Auxiliar: Carga contaminante

Las cargas de contaminación son medidas en mg/L en la industria de San Benito; por consiguiente, teniendo en cuenta que dentro del modelo, las unidades de medida corresponden a metros cúbicos, es necesario multiplicar los valores por 1000 ($1m^3$=1000L). En ese orden de ideas, las cargas de contaminación son de 3.546.720 mg/m^3 de DBO, 9.310.040 mg/m^3 de DQO, 5.459.110 mg/m^3 de SST y 212.800 mg/m^3 de Cromo (ONUDI, 1994).

6.2.3.10. Auxiliar: Tratamientos de agua

Esta variable es auxiliar binaria y se activa siempre y cuando el interés en sustentabilidad por parte de las empresas sea mayor que cero o, en caso contrario, a partir de que el escenario del Parque Industrial Ecoeficiente se active y entre en

funcionamiento (posteriormente se explicarán las variables que componen a los tratamientos de agua). Así las cosas, la ecuación que la define es la siguiente:

$$Tratamientos\ de\ agua = IF\ THEN\ ELSE(Escenario\ PIESB = 1,\ STEP(1, 2021 + Demora\ en\ implementación\ del\ PIESB),\ IF\ THEN\ ELSE(Interés\ en\ sustentabilidad\ por\ parte\ de\ las\ empresas > 0,1,0))$$

6.2.3.11. Auxiliar: Cantidad de reducción de carga contaminante

Esta variable se compone por las constantes que determinan el % de reducción de las cargas contaminantes DBO, DQO, SST y Cromo respectivamente, y la posterior activación de las mismas por la anterior variable "Tratamientos de agua", las cuales es posible visualizar dentro del modelo como "Tto agua" para los cuatro parámetros.

6.2.3.12. Índice: Calidad del agua

La calidad del agua se mide conforme a la Resolución 339 de 1999, en la que se especifica la unidad adimensional de "Unidades de Contaminación Hídrica – UCH". Las curtiembres pertenecen al grupo 2, por lo que el indicador para calcularla es el siguiente. A mayor UCH menor calidad de agua:

$$UCH2 = \frac{CT - CnT}{CnT} + \frac{CAG - CnAG}{CnAG} + \frac{CDBO5 - CnDBO5}{CnDBO5} + \frac{CSST - CnSST}{CnSST}$$

En donde:

- ✓ UCH2: Unidades de Contaminación Hídrica vertida por el grupo 2, contiene sustancias de interés sanitario.
- ✓ C: Concentración obtenida en la última caracterización reportada por el DAMA (Hoy en día Secretaría Distrital de Ambiente, SDA) del vertimiento más crítico de los usuarios empresariales.
- ✓ Cn: Concentración máxima permitida en vertimientos, según la Resolución DAMA 1074 de 1997
- ✓ T: Sustancias de interés sanitario.
- ✓ AG: Aceites y Grasas.
- ✓ DBO5: Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días.

- ✓ SST: Sólidos Suspendidos Totales.

Teniendo en cuenta que la discrepancia es definida como lo obtenido menos lo esperado, conforme la definición de Forrester (Aracil & Gordillo, 1997), la calidad del agua será medida en UCH en valor negativo en el sentido de los parámetros DBO5, DQO, SST y Cromo (entendiendo que cada UCH es una disminución en la calidad del agua) como sigue:

$$UCH2 = \frac{Discrepancia\ DBO5}{Cumplimiento\ DBO5} + \frac{Discrepancia\ DQO}{Cumplimiento\ DQO} + \frac{Discrepancia\ SST}{Cumplimiento\ SST} + \frac{Discrepancia\ Cr}{Cumplimiento\ Cr}$$

Evidentemente, mientras no exista un tratamiento capaz de modificar estos valores y disminuirlos con el tiempo, las UCH serán constantes en el tiempo y por lo tanto la disminución en la calidad del agua.

Por ejemplo, para el año 2022 las UCH ascienden a:

$$UCH2_{2022} = \frac{(3546{,}72 - 1000)mg/L}{1000mg/L} + \frac{(9310{,}04 - 2000)mg/L}{2000mg/L} + \frac{(5459{,}11 - 800)mg/L}{800mg/L} + \frac{(212{,}8 - 1)mg/L}{1mg/L}$$

$$UCH2_{2022} = \frac{2546{,}72mg/L}{1000mg/L} + \frac{7310{,}04mg/L}{2000mg/L} + \frac{4659{,}11mg/L}{800mg/L} + \frac{211{,}8mg/L}{1mg/L}$$

$$UCH2_{2022} = 2{,}55 + 3{,}66 + 5{,}82 + 211{,}8 = 223{,}83$$

6.2.3.13. Índice: Recursos Naturales KN

Este capital se calcula teniendo en cuenta si la calidad del agua es negativa, se asume que es -100% y por la variación que tenga en el tiempo, puede disminuir el impacto negativo. Así mismo, si la calidad del agua es positiva, quiere decir que se está cumpliendo con los requisitos de calidad del agua; se tendrá en cuenta la variación en el tiempo en el incremento de la misma (esto, asumiendo el escenario hipotético de que en algún punto en el tiempo, a pesar de haber cumplido los parámetros establecidos por la normatividad, se fortalezcan los tratamientos de

agua o se mejoren las prácticas de producción, reduciendo aún más las cargas contaminantes); por consiguiente, el capital KN será calculado en la siguiente forma:

$$Recursos\ Naturales\ (KN) = (IF\ THEN\ ELSE(\ Calidad\ del\ agua >= 0\ ,\ Variación\ calidad\ del\ agua\ , -1 + Variación\ calidad\ del\ agua\ ) + Ratio\ mejora\ percepción\ ambiental)/2$$

6.2.3.14. Variables relativas al escenario PIESB

Antes de continuar con la descripción de las variables calculadas mediante la percepción social, es necesario hacer la claridad sobre las dos variables que permitirán activar el escenario del Parque Industrial Ecoeficiente de San Benito: la variable binaria "Escenario PIESB" (0=Sin escenario, 1=Con escenario) y la variable "Demora en la implementación del PIESB", que hace referencia a la cantidad de años que tardaría la construcción del PIESB y por consiguiente, a partir de la cual podría evidenciarse la mejora en las variables de percepción social y los tratamientos de agua asociados al funcionamiento del citado parque.

6.2.3.15. Variables relativas a la percepción social

A continuación, se relacionarán las variables asociadas a la percepción social, que afectan a los capitales Recursos Naturales (KN), Capital Social (KS) y Capital Humano (KH).

Es importante aclarar, que para calcular la percepción inicial (actual) de cada una de las variables, conforme a lo expuesto en el apartado "6.2.1 Encuesta semiestructurada" del presente trabajo, se utilizó una escala Likert según la afinidad de los encuestados para cada una de las afirmaciones. Así las cosas, fue asignada la siguiente escala de valores: muy de acuerdo=100%, de acuerdo=50%, neutral=0%, en desacuerdo=-50% y muy en desacuerdo=-100%. Posteriormente, se realizó un promedio de las respuestas brindadas con el fin de calcular el valor de cada variable.

Luego de ello, las últimas preguntas corresponden a la percepción de mejora para cada uno de los capitales. Así las cosas, en la tabla 24 se relacionan los valores iniciales y la mejora por cada capital asociado a cada una de las variables:

Tabla 24. Valores iniciales y mejora por capital según la percepción social de los habitantes de San Benito. Elaboración propia.

Variable	Valor inicial	Capital Sustentab. Asociado	Mejora de capital por PIESB
Percepción social sobre el impacto ambiental	-70,62%	KN	74,14%
Desarrollo socio-económico	23,71%	KS	67,24%
Generación de empleo y bienestar económico local	32,47%		
Cohesión social	-7,22%		
Patologías sociales	31,44%		
Equidad y diversidad	25,26%		
Mejora de infraestructura y servicios públicos	-13,92%		
Legalidad de las curtiembres	8,76%		
Interés en sustentabilidad por parte de las empresas	-9,79%		
Responsable del problema ambiental: Curtiembres	64,95%		
Responsable del problema ambiental: Autoridad gubernamental	73,2%		
Seguridad y salud ocupacional	9,28%		
Capacitación / Educación	-10,82%	KH	72,41%
Salud	44,33%		
Sentido de pertenencia con San Benito	-20,10%		
Patrimonio histórico y cultural	-10,82%		

6.2.3.16. Mejora de variables del capital en escenario PIESB

Si bien en la tabla 24 se relacionan los valores de la mejora de cada capital en escenario del PIESB, estas variables por capital son activadas bajo dos condiciones: 1) La variable Escenario PIESB se encuentra activa, es decir con valor 1 y 2) A partir de la implementación del PIESB, es decir, posterior a los años de construcción o demora en implementación del PIESB.

Así las cosas, teniendo en cuenta que no se tiene conocimiento sobre el comportamiento del cambio de la percepción en el tiempo, se estableció un ratio constante de mejora año tras año, siendo el valor final el porcentaje de mejora indicado en las preguntas de percepción para cada capital. El citado ratio de mejora, fue calculado en un horizonte temporal de 15 años según el modelo de referencia (Tan et al., 2018), teniendo en cuenta que es la cantidad de tiempo para medir sustentabilidad y por lo tanto, para obtener un valor final.

6.2.3.17. Índice de Sustentabilidad

Tal y como se define a la sostenibilidad débil en el Marco Teórico del presente documento, siendo aquella que pretende optimizar la siguiente ecuación, logrando un equilibrio entre los diferentes capitales (Pearce & Atkinson, 1998):

$dK/dt \geq 0$, donde $K = KM + KH + KN + KS$ (Pearce & Atkinson, 1998)

En donde:
K = Capital (Pearce & Atkinson, 1998)
KM = Capital hecho por el hombre mediante bienes producidos (Pearce & Atkinson, 1998)
KH = Capital humano (Pearce & Atkinson, 1998)
KN = Recursos naturales (Pearce & Atkinson, 1998)
KS = Interacciones entre las personas, instituciones y el gobierno (Pearce & Atkinson, 1998)
El índice de sustentabilidad del modelo, que es la variable que nos interesa, estará establecido por la suma de todos los capitales, ya que cada capital es un índice adimensional.

6.2.4. Construcción del diagrama de Forrester

En virtud del diagrama causal y la definición de cada variable en el diagnóstico del sistema, es posible modelar el diagrama de Forrester como se evidencia en la figura 18:

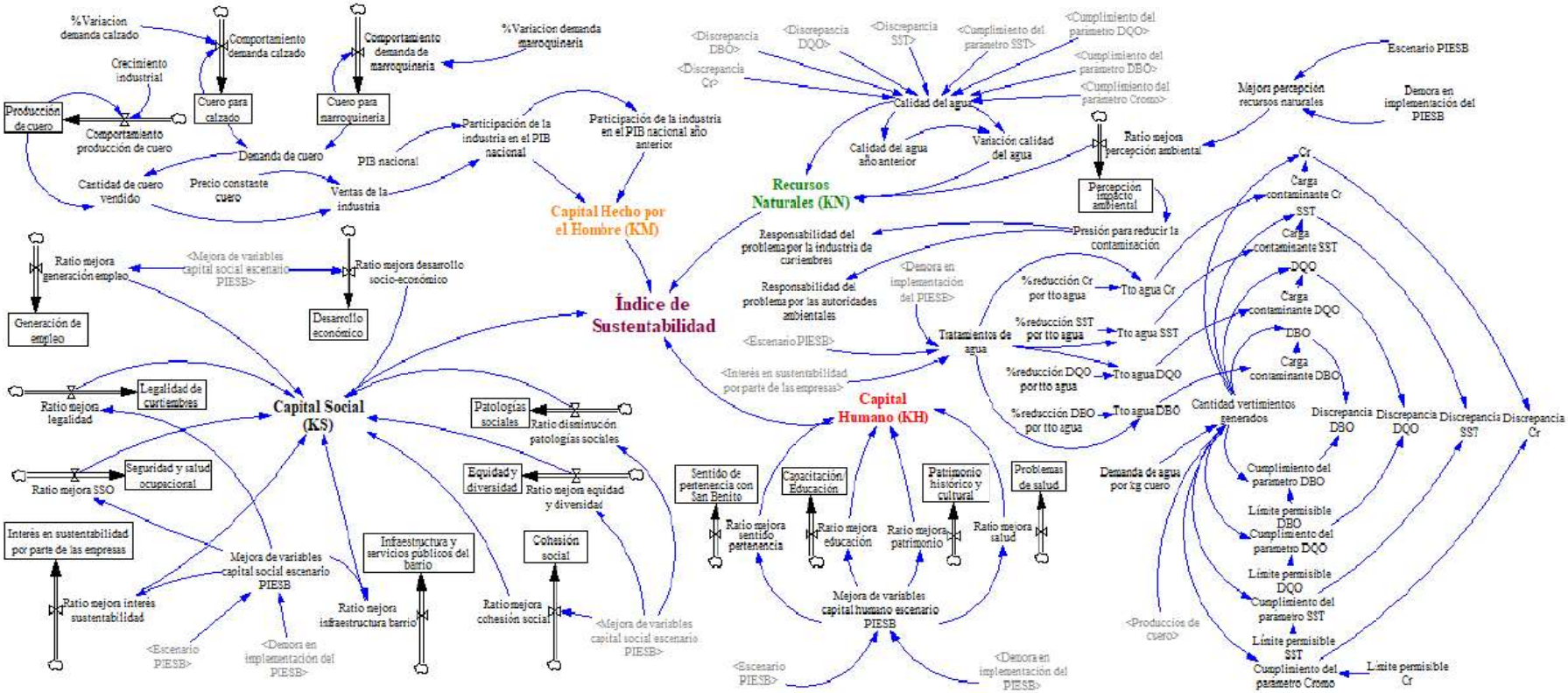


Figura 18. Diagrama de Forrester para la evaluación de sustentabilidad de la industria de curtiembres. Fuente: Elaboración Propia.

6.2.5. Validación de comportamiento del modelo

La única prueba objetiva del modelo como un todo, es la habilidad del mismo para predecir el comportamiento futuro del sistema real cuando los datos de entrada conectan las entradas reales y cuando una política implementada en el modelo es implementada en algún punto en el sistema; es decir, en vez de validar las transformaciones de entrada y salida prediciendo el futuro, se puede usar datos históricos que han sido reservados sólo para propósitos de validación, así una exacta "predicción del pasado" puede reemplazar una predicción del futuro para el propósito de validación del modelo (Banks et al., 2004; Musango et al., 2011). El proceso de validación en este caso se realizará utilizando la herramienta de Monte Carlo y realizando la comparación de los datos históricos.

Para realizar la validación mencionada anteriormente, la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) en el marco de la ejecución de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá (RCHB) realiza monitoreo a los principales cuerpos de agua del distrito capital, actualmente cuenta con 2 estaciones de monitoreo TU-SBenito y TU-MakroS, la primera de ellas se localiza antes del cruce del Río Tunjuelo por la Avenida Boyacá en el costado suroccidental del Barrio San Benito y la segunda aguas abajo del punto de descarga del Interceptor Tunjuelo Medio, el cual recibe las descargas de agua residual realizadas en el barrio San Benito por la Estación Elevadora operada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB-ESP). Así las cosas, esa entidad suministró los resultados históricos para los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), desde el año 2006 hasta el año 2020.

En virtud de lo anteriormente expuesto, es necesario ingresar los valores iniciales, es decir su valor para el año 2006, de las siguientes variables, con el fin de validar los resultados del modelo:

- Variables relacionadas con la demanda de cuero: Para el año 2006, de acuerdo con la 666 415 569 d2

$$Kg\ demanda\ inicial\ cuero_{2016} = 666.415.569\ d^2 * \frac{piel}{400\ d^2} * \frac{9\ kg}{piel} = 14.994.350{,}3\ kg$$

- Variable “Cuero para calzado” = 14.994.350,3 * 50,4% * 71%
  = 5.365.578,31 kg
- Variable “Cuero para marroquinería” = 14.994.350,3 * 49,6% * 71%
  = 5.280.410,40 kg
- Variable “Producción de cuero” = 10.869.846,79 kg

Es importante mencionar, que las curtiembres producen el 5% de los vertimientos contaminantes para el río Tunjuelo (Salazar, 2013). Debido a que, según el Informe Objetivos de Calidad 2018-2020 realizado por la Universidad de los Andes para la Alcaldía Mayor de Bogotá en el año 2015, para la estación TU-MakroS el Tunjuelo recibe toda la descarga de la quebrada Chiguaza. Por consiguiente, el cálculo del aporte de las curtiembres a los indicadores de calidad del agua luego de obtener la diferencia entre los promedios anuales de las estaciones aguas arriba (TU_SBenito) y aguas abajo de las mismas (TU-MakroSTV86), es el que se evidencia en las tablas 25, 26 y 27:

Tabla 25. Histórico de carga DBO mg/año y Tn/año. Elaboración propia. Fuente SDA.

Año	Diferencia estaciones DBO (mg/año)	Aporte DBO de las curtiembres (mg/año)	Aporte DBO de las curtiembres (Tn/año)
2006	16237494606363,7	811874730318,2	811,9
2007	17956824260216,0	897841213010,8	897,8
2008	16796240605783,4	839812030289,2	839,8
2009	15717972300800,0	785898615040,0	785,9
2010	13639825997990,0	681991299899,5	682,0
2011	15385161444629,9	769258072231,5	769,2
2012	14211532708960,0	710576635448,0	710,6
2013	14522529858169,1	726126492908,5	726,1
2014	13172497114536,7	658624855726,8	658,6
2015	15039646379543,4	751982318977,2	752,0
2016	13952086979059,5	697604348953,0	697,6
2017	13107980904576,0	655399045228,8	655,4
2018	14660732912921,6	733036645646,1	733,0
2019	14125673785408,0	706283689270,4	706,3
2020	13184852415524,6	659242620776,2	659,2

Tabla 26. Histórico de carga DQO mg/año y Tn/año. Elaboración propia. Fuente SDA.

Año	Diferencia estaciones DQO (mg/año)	Aporte DQO de las curtiembres (mg/año)	Aporte DQO de las curtiembres (Tn/año)
2006	41942920288945,20	2097146014447,26	2.097,1
2007	41640949567173,80	2082047478358,69	2.082,0
2008	44386036480000,00	2219301824000,00	2.219,3
2009	43876552373600,00	2193827618680,00	2.193,8
2010	40344886486149,00	2017244324307,45	2.017,2
2011	38703176387010,60	1935158819350,53	1.935,2
2012	37525519447299,20	1876275972364,96	1.876,3
2013	38357776677614,40	1917888833880,72	1.917,9
2014	36878014191816,80	1843900709590,84	1.844,0
2015	38475814577280,80	1923790728864,04	1.923,8
2016	36475814577280,00	1823790728864,00	1.823,8
2017	37002579614294,60	1850128980714,73	1.850,1
2018	37377590494659,80	1868879524732,99	1.868,9
2019	38117616413560,00	1905880820678,00	1.905,9
2020	36800019025630,20	1840000951281,51	1.840,0

Tabla 27. Histórico de carga SST mg/año. Elaboración propia. Fuente SDA.

Año	Diferencia estaciones SST (mg/año)	Aporte SST de las curtiembres (mg/año)	Aporte SST de las curtiembres (Tn/año)
2006	25734586048794,80	1286729302439,74	1.286,7
2007	25648038977587,20	1282401948879,36	1.282,4
2008	25563354656000,00	1278167732800,00	1.278,2
2009	23743354656000,00	1187167732800,00	1.187,2
2010	22598755995255,20	1129937799762,76	1.129,9
2011	22595646580041,80	1129782329002,09	1.129,8
2012	21721472793965,00	1086073639698,25	1.086,1
2013	21648426327893,80	1082421316394,69	1.082,4
2014	21845638687775,80	1092281934388,79	1.092,3
2015	22088845810526,00	1104442290526,30	1.104,4
2016	21845644687521,80	1092282234376,09	1.092,3
2017	21706310042880,00	1085315502144,00	1.085,3
2018	22170157885920,00	1108507894296,00	1.108,5
2019	21591871920208,00	1079593596010,40	1.079,6
2020	21395532067474,20	1069776603373,71	1.069,8

Teniendo en cuenta que dentro del modelo existen variables que se comportan bajo la función de densidad de probabilidad normal, fue necesario aplicar el método de Montecarlo para poder realizar la validación del mismo. Así las cosas, este método permite simular 200 corridas con diferentes semillas, con el propósito de determinar los límites de confianza de los posibles resultados que arroja el modelo.

Para este caso, se utilizaron tres variables de entrada que afectan las variables de salida utilizadas para la validación por el método Montecarlo, las cuales fueron: "% variación demanda de calzado", "% variación demanda marroquinería" y "crecimiento industrial". Fue necesario convertir estas variables en parámetros, ingresando como valor fijo la media definida en el apartado *"6.2.3. Diagnóstico del sistema*" del presente documento, y el comportamiento probabilístico como función en la herramienta Montecarlo del software Vensim.

En las figuras 19, 20 y 21 es posible evidenciar los valores históricos (línea roja) y el gráfico de sensibilidad arrojado por Vensim, para las variables de salida DBO, DQO y SST:

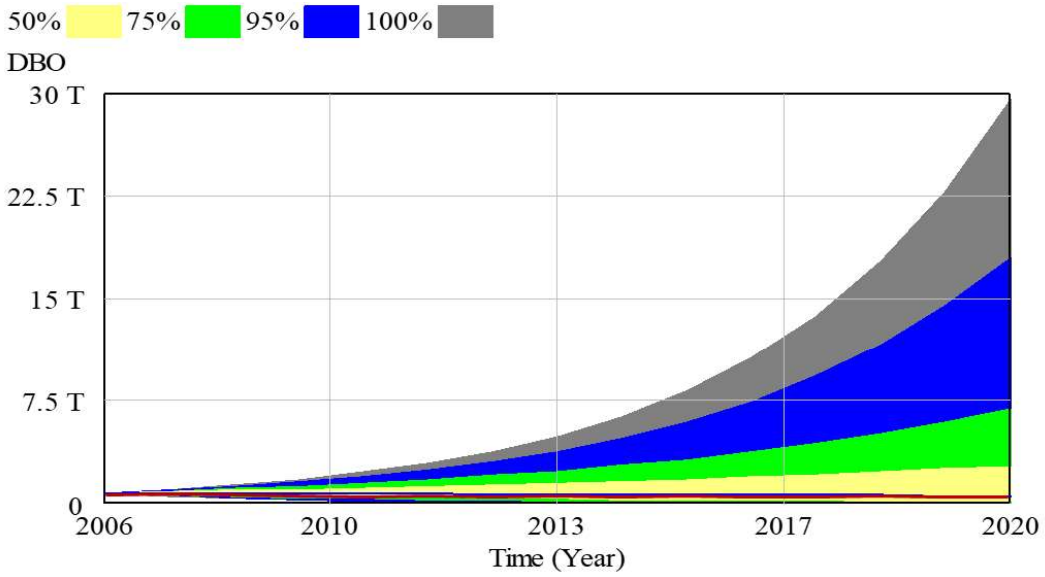


Figura 19. Gráfico de sensibilidad y valores históricos de DBO mg/año. Elaboración propia.

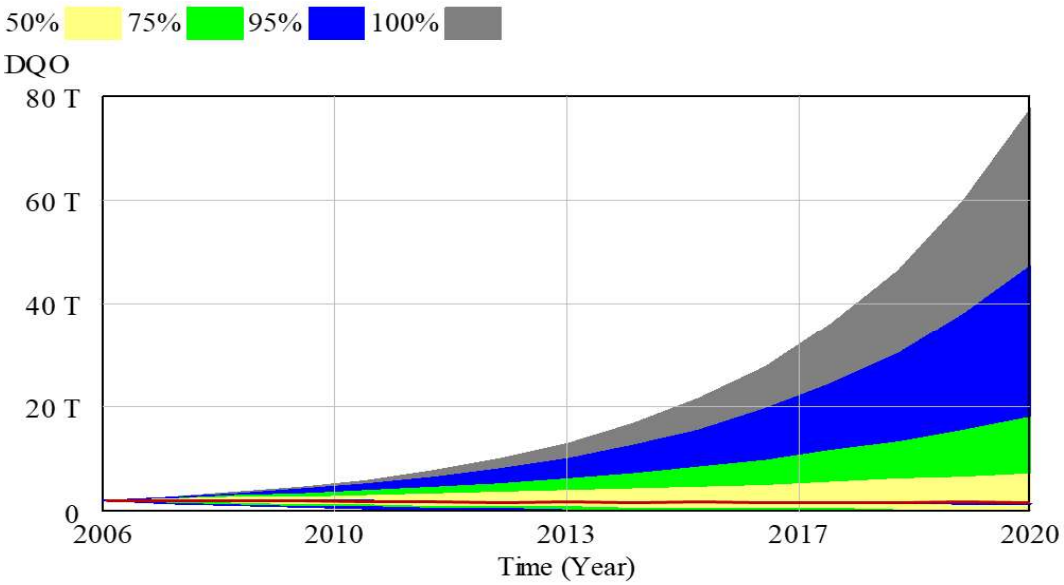


Figura 20. Gráfico de sensibilidad y valores históricos de DQO mg/año. Elaboración propia.

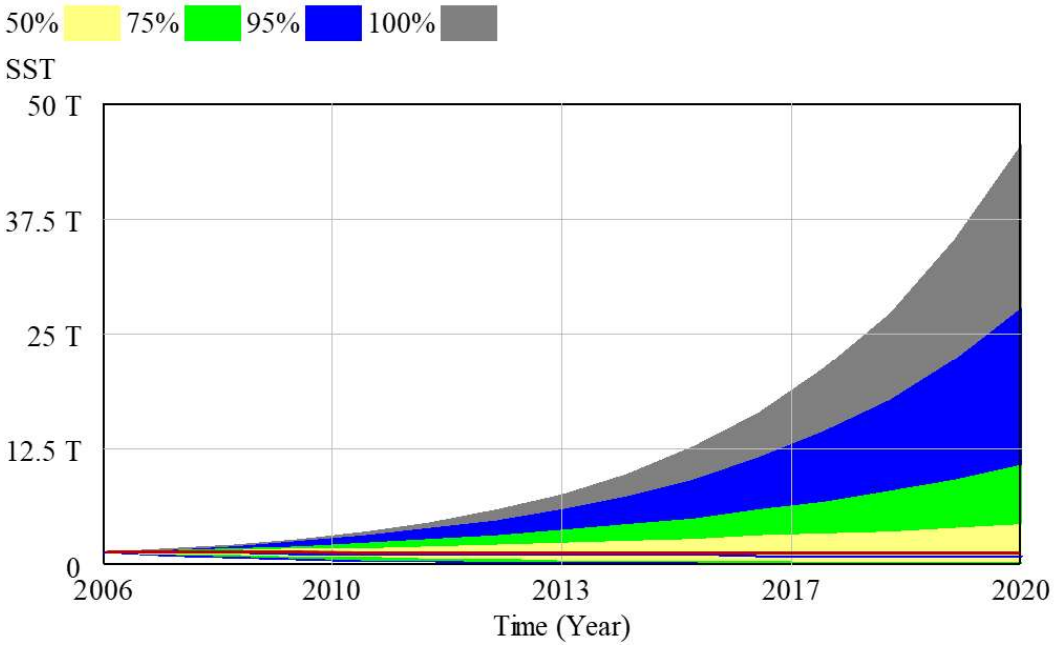


Figura 21. Gráfico de sensibilidad y valores históricos de SST mg/año. Elaboración propia.

De acuerdo con las gráficas 19, 20 y 21, es posible afirmar que el modelo dinámico es capaz de predecir el pasado, puesto que los valores históricos para las variables de salida DBO, DQO y SST se encuentran dentro de los límites de confianza que arroja la simulación.

6.2.6. Resultados del modelo

Se inicia el análisis de resultados del modelo sin activar el escenario del PIESB, conociendo el comportamiento de la sustentabilidad en el tiempo en la figura 22, desde el año 2021 hasta el año 2035, bajo las condiciones actuales:

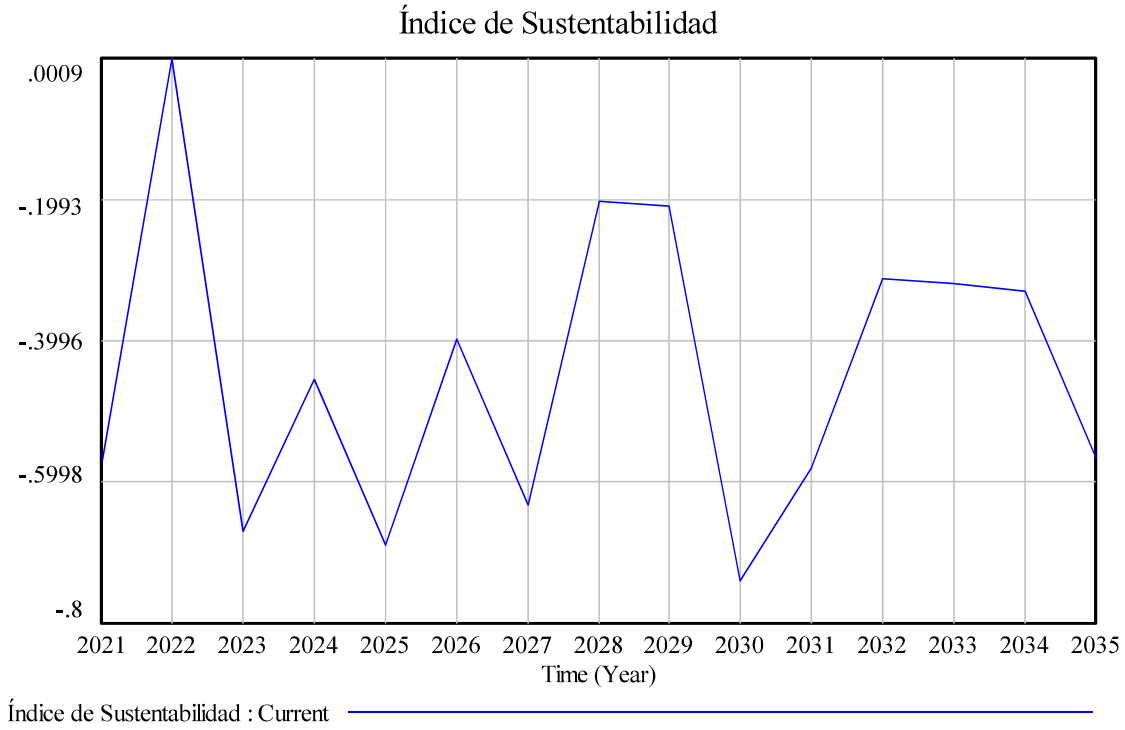


Figura 22. Comportamiento del índice de sustentabilidad. Elaboración propia.

Es importante observar que de acuerdo con la figura 22, bajo las condiciones actuales, en los próximos 15 años no se alcanza una sustentabilidad débil, debido a que los valores oscilan entre 0,1% y -74,05%. En este punto es necesario recordar la definición de sustentabilidad débil como aquella que pretende optimizar la siguiente ecuación, logrando un equilibrio entre los diferentes capitales (Pearce & Atkinson, 1998):

$dK/dt \geq 0$, donde $K = KM + KH + KN + KS$ (Pearce & Atkinson, 1998)

En donde:

K = Capital (Pearce & Atkinson, 1998)

KM = Capital hecho por el hombre mediante bienes producidos (Pearce & Atkinson, 1998)

KH = Capital humano (Pearce & Atkinson, 1998)

KN = Recursos naturales (Pearce & Atkinson, 1998)

KS = Interacciones entre las personas, instituciones y el gobierno (Pearce & Atkinson, 1998)

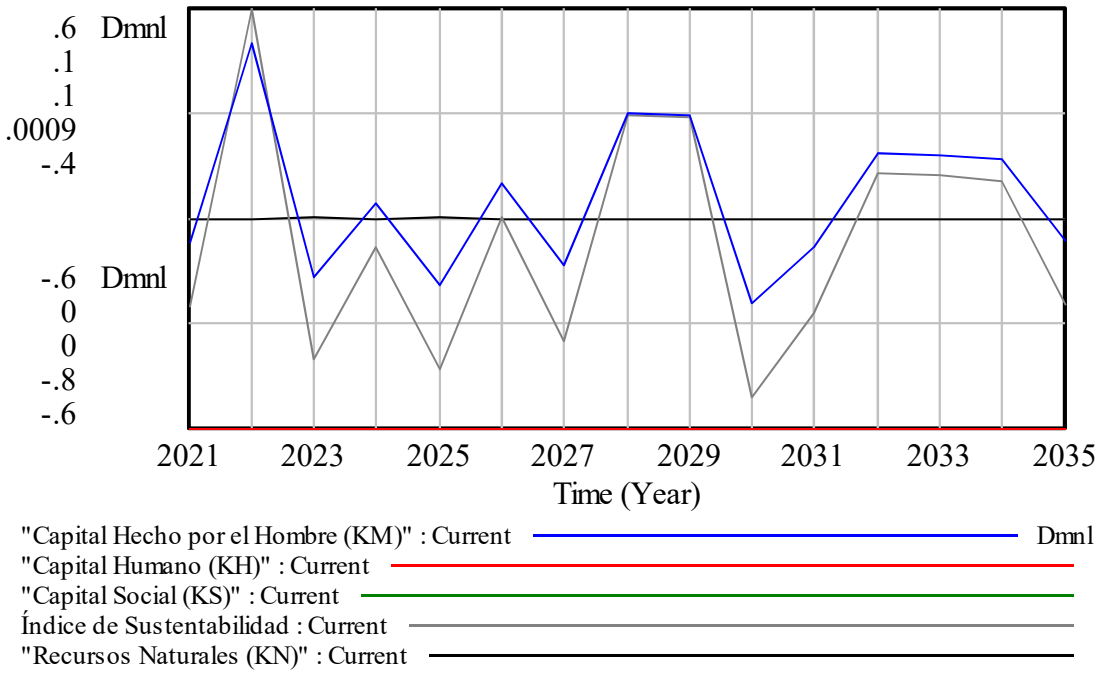


Figura 23. Comportamiento del índice de sustentabilidad y de los capitales KM, KN, KH y KS. Elaboración propia.

De acuerdo con la figura 23, es posible conocer el comportamiento de la variación de cada uno de los capitales en el tiempo; en donde se evidencia que existe un comportamiento constante en los capitales social, humano y natural. Por consiguiente, la variación en el comportamiento del índice de sustentabilidad se encuentra determinada únicamente por el comportamiento del capital hecho por el hombre (KM). De acuerdo con los resultados obtenidos en el modelo de referencia, es posible afirmar que el desarrollo económico determinado por KM sigue siendo la tarea principal (Tan et al., 2018) tanto de China como, en este caso, de San Benito.

Lo anterior da como resultado una correlación de 1 de acuerdo con las correlaciones de Spearman y de rango de Kendall arrojadas en el software SPSS como se

evidencia en la tabla 28; confirmando de esta forma que el comportamiento del índice de sustentabilidad es idéntico al comportamiento de KM, sin tener en cuenta los otros capitales.

Tabla 28. Correlación bilateral entre el Índice de Sustentabilidad (K) y el capital hecho por el hombre (KM). Elaboración propia.

Correlaciones

			K	KM
Tau_b de Kendall	K	Coeficiente de correlación	1,000	1,000**
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	15	15
	KM	Coeficiente de correlación	1,000**	1,000
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	15	15
Rho de Spearman	K	Coeficiente de correlación	1,000	1,000**
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	15	15
	KM	Coeficiente de correlación	1,000**	1,000
		Sig. (bilateral)	.	.
		N	15	15

**. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Sin embargo, como el capital recursos naturales (KN) es negativo, y el capital social (KS) y capital humano (KH) son constantes en cero, debido a que no se presenta variación en el tiempo para los mismos, el índice de sustentabilidad es negativo. Esto confirma la aseveración de que los capitales social y humano normalmente son dejados de lado (Hong & Gasparatos, 2020); por consiguiente, no presentan modificaciones en el tiempo.

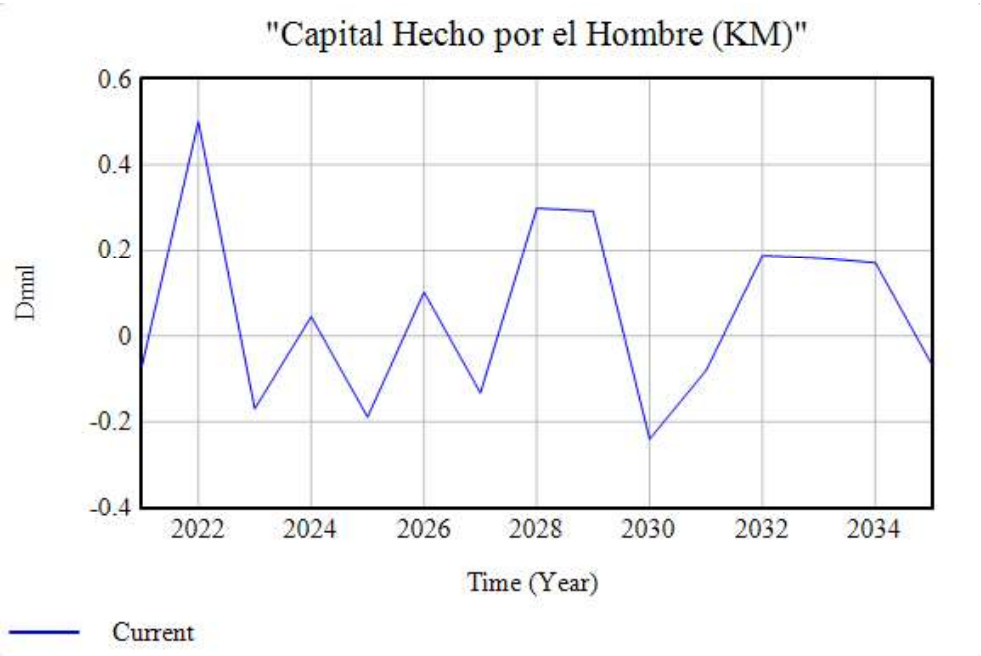


Figura 24. Comportamiento del capital hecho por el hombre (KM). Elaboración propia.

Se hace importante revisar a profundidad la variación en el tiempo del capital hecho por el hombre (KM), debido a que en la actualidad está determinando el índice de sustentabilidad. En la figura 24 se evidencia una alta fluctuación de éste, debido al comportamiento de la variación de la demanda en el tiempo; es decir, no es posible mejorar este capital con esfuerzos intrínsecos o endógenos del sistema.

Dado lo anterior, este comportamiento suministra una información previa relacionada con que los esfuerzos que se realicen en adelante, deben encaminarse a aumentar los otros tres capitales, ya que el comportamiento de KM se encuentra determinado por fuerzas exógenas al sistema.

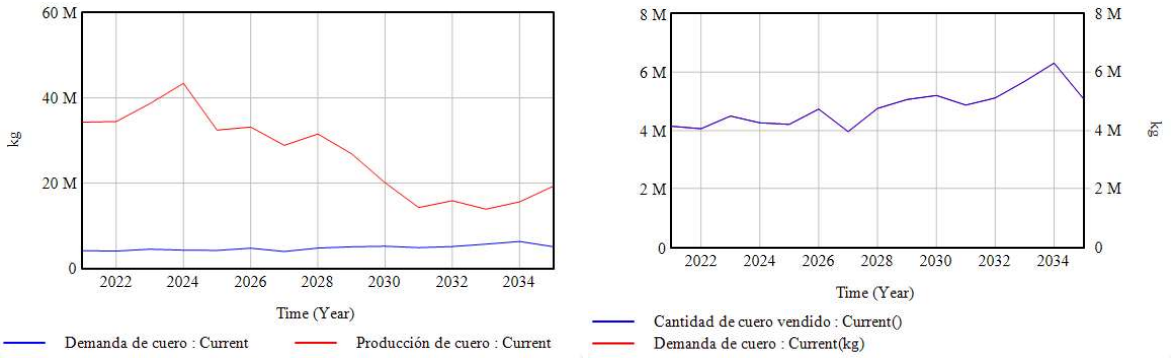


Figura 25. Comportamiento de la oferta-demanda de la industria. Elaboración propia.

En cuanto al comportamiento de la oferta y la demanda de la industria, se evidencia que existe una disponibilidad en la producción del cuero mayor que la cantidad demandada según la figura 25; por consiguiente, la cantidad del cuero vendido se encuentra determinada por la demanda y es posible afirmar que la industria se encuentra en una situación de sobreproducción. De acuerdo con esto, se evidencia que a través del tiempo la producción del cuero se verá disminuida, con el fin de alcanzar un equilibrio con la demanda y de esta forma evitar producir en exceso cuero que no sea vendido y se quede en stock.

En contraste a la sobreproducción de cuero, de acuerdo con el modelo de Espinoza desarrollado en el año 2017 para la industria de biodiesel en Colombia, la cantidad producida satisface la demanda en un porcentaje que incrementa en el tiempo; por consiguiente, el producto es vendido en su totalidad y no posee stock (Espinoza et al., 2017).

En la tabla 29 es posible comprobar que la cantidad de cuero vendido es exactamente igual a la cantidad demanda, de acuerdo con las correlaciones de Spearman y de rango de Kendall arrojadas en el software SPSS, las cuales arrojan un coeficiente de correlación de 1; así mismo, la producción no se encuentra correlacionada con el cuero vendido, con un nivel de significancia menor a 0,01; debido a que la producción de las curtiembres está dada por la cantidad de pieles y

empleados que conforman las curtiembres (C. N. d. P. m. Limpia, 2004b), no por un análisis de demanda.

Tabla 29. Correlación bilateral entre la cantidad de cuero vendido, la demanda y la producción. Elaboración propia.

Correlaciones

			CueroVendido	Demanda	Producción
Tau_b de Kendall	CueroVendido	Coeficiente de correlación	1,000	1,000**	-,581**
		Sig. (bilateral)	.	.	,003
		N	15	15	15
	Demanda	Coeficiente de correlación	1,000**	1,000	-,581**
		Sig. (bilateral)	.	.	,003
		N	15	15	15
	Producción	Coeficiente de correlación	-,581**	-,581**	1,000
		Sig. (bilateral)	,003	,003	.
		N	15	15	15
Rho de Spearman	CueroVendido	Coeficiente de correlación	1,000	1,000**	-,764**
		Sig. (bilateral)	.	.	,001
		N	15	15	15
	Demanda	Coeficiente de correlación	1,000**	1,000	-,764**
		Sig. (bilateral)	.	.	,001
		N	15	15	15
	Producción	Coeficiente de correlación	-,764**	-,764**	1,000
		Sig. (bilateral)	,001	,001	.
		N	15	15	15

**. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

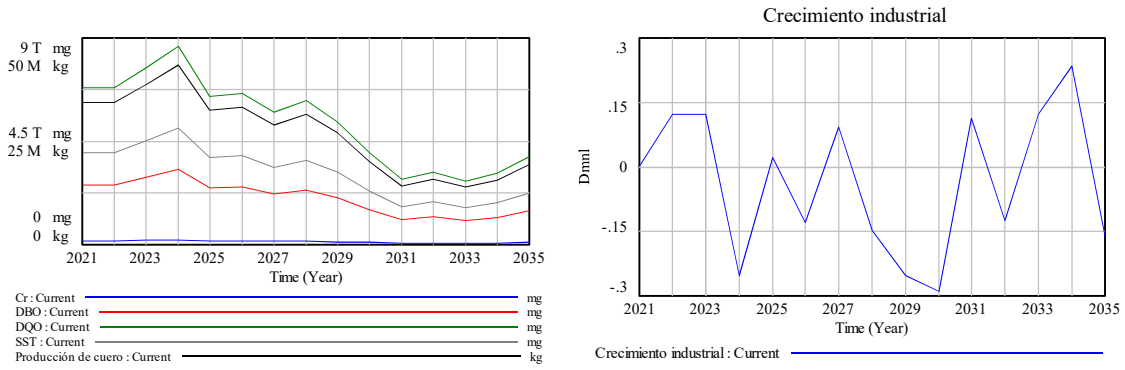


Figura 26. Comportamiento de la producción de cuero, la generación de cargas contaminantes de Cromo, DBO, DQO y SST y el crecimiento industrial. Elaboración propia.

En la figura 26 se observa que el comportamiento de la producción de cuero disminuye, debido dos factores: al análisis de oferta y demanda realizado anteriormente y a que la industria actualmente se encuentra en su capacidad máxima; por consiguiente, se evidencia que el promedio en la variabilidad del crecimiento industrial es del -3,5%. Lo anterior conlleva a que la generación de carga contaminante de Cromo, DBO, DQO y SST se comporte en forma idéntica a la producción. Esto corrobora los resultados obtenidos en modelos anteriores de los años 2010 y 2012 para la generación de residuos sólidos en la ciudad de Newark y la generación de residuos plásticos en Beijing, en donde se evidencia que, a medida que la población incrementa, también aumenta la generación de residuos, siendo estos comportamientos directamente proporcionales (Kollikkathara et al., 2010; Long et al., 2012).

No obstante, aun cuando se encuentran resultados significativos analizando los factores impulsores del comportamiento poblacional tales como personas por hogar, ingreso por hogar y actividad económica (Dyson & Chang, 2005), no es posible contrastarlos contra el presente modelo, debido a que el comportamiento poblacional de San Benito permanece constante a través del tiempo (Ambiente, 2007).

Ahora bien, en cuanto a la calidad del agua medida en Unidades de Contaminación Hídrica – UCH, en la figura 27 se evidencia que es negativa y adicionalmente constante en el tiempo; es decir, refleja la problemática ambiental del sector y en condiciones actuales, continuará constante debido a que, conforme a la percepción social, no existe interés en sustentabilidad por parte de las curtiembres y, por lo tanto, no existe reducción de contaminación originada por tratamientos de agua; lo cual corrobora el resultado obtenido por un modelo del año 2002 utilizado para pronosticar residuos sólidos municipales (Karavezyris et al., 2002), mediante el que se observó que un mal comportamiento, en este caso un interés por la sustentabilidad negativo por parte de las empresas, ocasionaría un factor de

reciclaje en cero; en este caso, los tratamientos de agua son nulos (Karavezyris et al., 2002).

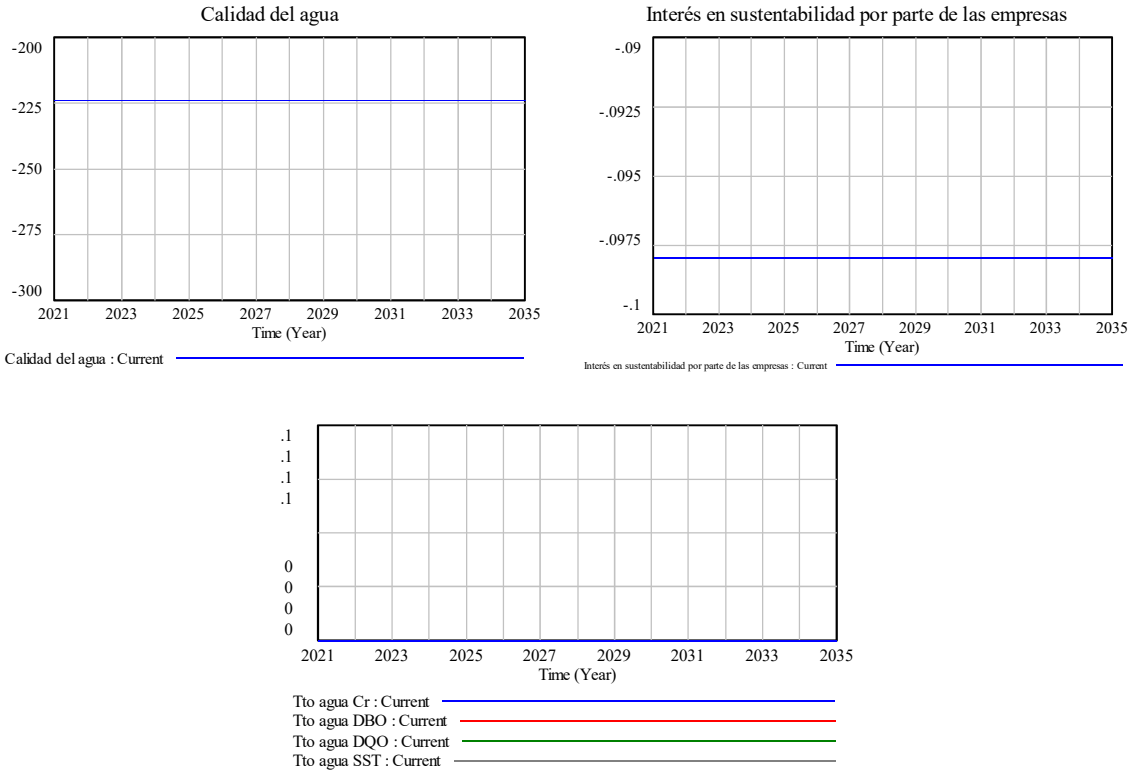


Figura 27. Comportamiento de la calidad del agua, del interés en sustentabilidad por parte de las empresas y de los tratamientos de agua. Elaboración propia.

Es posible analizar esta problemática desde la percepción del impacto ambiental con respecto a la presión para reducir la contaminación, ya que en la figura 28 se observa que, a una percepción del impacto ambiental negativa, le corresponde una presión para reducir la contaminación positiva. Esto corrobora los resultados evidenciados en un modelo del año 2002 utilizado para pronosticar residuos sólidos municipales (Karavezyris et al., 2002), en el cual las dinámicas de dos variables similares al presente modelo: el comportamiento ambiental, en este caso, la percepción del impacto ambiental de la industria y la regulación, en este caso, la presión para reducir la contaminación, se desarrollan en direcciones opuestas; a un comportamiento ambiental negativo le corresponde un incremento en la regulación (Karavezyris et al., 2002).

Así mismo, se evidencia que los controles implementados por las autoridades ambientales no son suficientes para reducir el impacto ambiental negativo de las curtiembres (Ambiente, 2007), debido a que en las condiciones actuales, este impacto permanecerá constante.

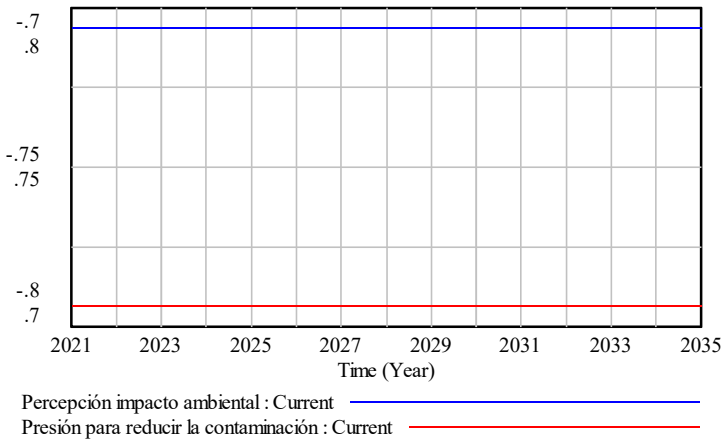


Figura 28. Comportamiento de la percepción del impacto ambiental y de la presión para reducir la contaminación. Elaboración propia.

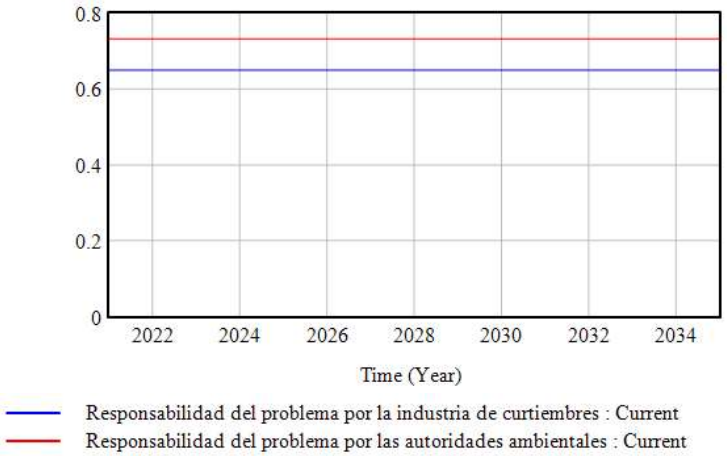


Figura 29. Percepción social de la responsabilidad del problema medioambiental. Elaboración propia.

De otra parte, en cuanto a la percepción social sobre la responsabilidad del problema medioambiental que se presenta actualmente, de acuerdo con los resultados de la encuesta, en la figura 29 se observa que las personas consideran

que el problema recae en las autoridades ambientales más que en la propia industria de curtiembres. Es decir, se percibe que, no ejercer el control suficiente sobre la industria conlleva a aumentar la problemática. En este sentido, es posible señalar que la presencia de las autoridades ambientales en esfuerzos para mejorar la situación actual, mejoraría la percepción sobre una posible solución a estos contratiempos.

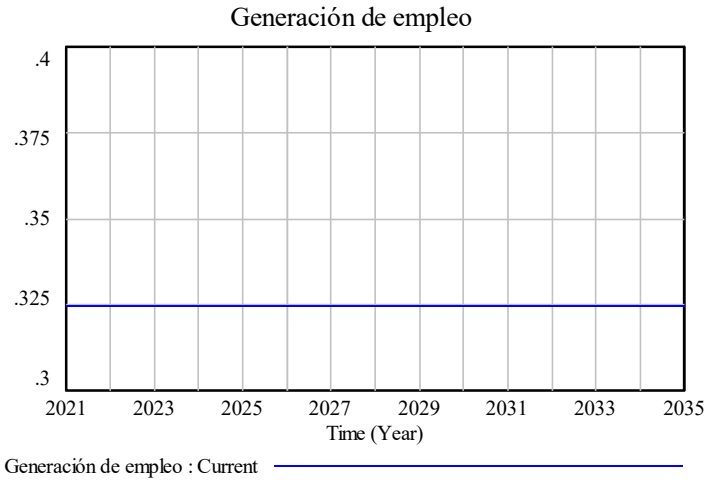


Figura 30. Percepción social de la generación de empleo por parte de la industria. Elaboración propia.

Finalmente, en la figura 30 se evidencia que la percepción de la población de San Benito, en cuanto a la generación de empleo por parte de la industria, es positiva con un valor de 32,5%. Lo anterior, en contraposición de la producción de Biodiesel en Sudáfrica, en donde si bien pretende crear empleos en las comunidades granjeras, se observa que durante un período de 15 años aumenta; sin embargo, posterior a ese lapso de tiempo disminuye debido al incremento de la capacidad funcional de Biodiesel (Musango et al., 2012).

6.2.7. Análisis de sensibilidad del sistema actual

Es importante identificar qué tan sensible es el modelo con respecto a cambios en los parámetros del mismo. Además de validar la robustez del mismo, teniendo en cuenta que ya fue realizada la validación del comportamiento en el numeral *"6.2.5. Validación de comportamiento del modelo"*, este análisis de sensibilidad permite identificar las variables que más influyen en la variable principal, en este caso, el índice de sustentabilidad.

Para este propósito, las variables a modificar para la herramienta Monte Carlo en 200 corridas, son los siguientes: porcentaje de variación demanda calzado y porcentaje de variación demanda marroquinería. Vale la pena indicar que, de acuerdo con el análisis de resultados, el sistema actual únicamente se encuentra definido por el capital hecho por el hombre (KM), debido a que los otros capitales serán modificados una vez sea activado el escenario del PIESB, para el cual se realizará el respectivo análisis de sensibilidad en el siguiente apartado.

Es importante indicar, que el método Monte Carlo únicamente funciona con parámetros y realiza las simulaciones bajo la función de densidad de probabilidad dada. Por consiguiente, es posible convertir las variables que se comportan bajo una función de densidad de probabilidad normal: "% variación demanda calzado" y "% variación demanda marroquinería", asignándoles el valor de parámetros con la media de las mismas e ingresando el comportamiento probabilístico en la herramienta Monte Carlo.

Inicialmente, se convierte en parámetro la variable "% variación demanda calzado" y se ejecuta el análisis Monte Carlo, dando como resultado la figura 31, en la cual es posible evidenciar que el índice de sustentabilidad alcanza como valor mínimo -1 y como valor máximo aproximadamente 0,3; por lo que se evidencia sensibilidad con respecto a esta variable.

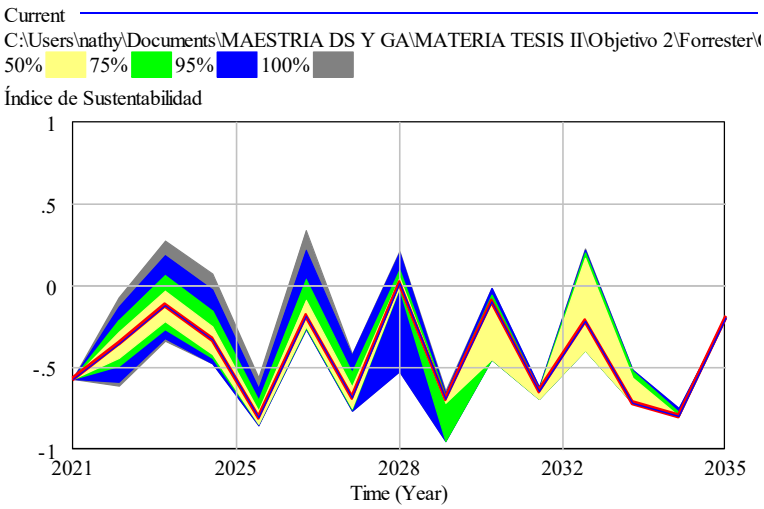


Figura 31. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con el parámetro % variación demanda calzado. Elaboración propia.

Posteriormente, se convierte en parámetro la variable % variación demanda marroquinería y se ejecuta el Monte Carlo, dando como resultado la figura 32, en la cual es posible evidenciar que el índice de sustentabilidad alcanza como valor mínimo -1 y como valor máximo aproximadamente 0,3; por lo que se evidencia sensibilidad con respecto a esta variable.

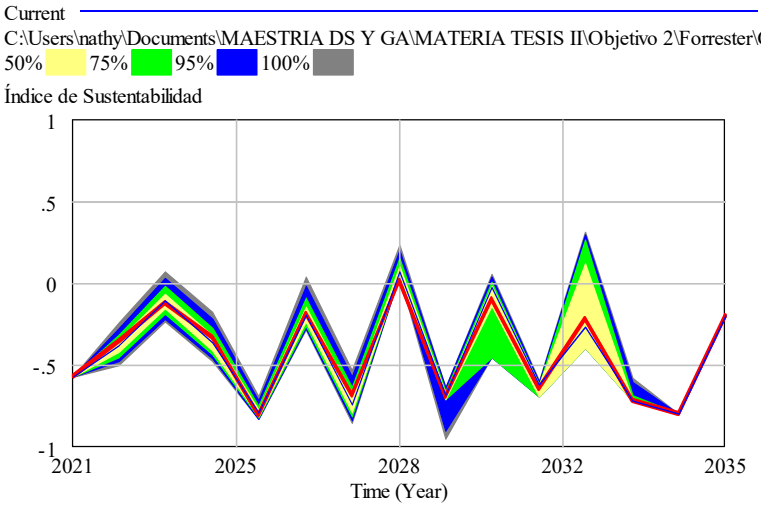


Figura 32. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con el parámetro % variación demanda marroquinería. Elaboración propia.

Aun cuando se presenta sensibilidad respecto a ambos parámetros analizados, se evidencia que el componente de la demanda que más afecta al sistema es la demanda de calzado.

6.3. FORMULACIÓN DE RECOMENDACIONES DE GESTIÓN MEDIANTE LA GENERACIÓN DEL ESCENARIO PIESB

6.3.1. Generación del escenario PIESB

Con el fin de evaluar en detalle los resultados obtenidos y así mismo, determinar si el Parque Industrial Ecoeficiente de San Benito – PIESB puede alcanzar sustentabilidad débil y en caso de ser posible, las condiciones bajo las cuales debe operar, se realiza el análisis de sensibilidad con todos los parámetros del sistema.

Para este propósito, es necesario generar el escenario PIESB en el modelo de simulación; esto es, modificar el valor de la variable binaria "Escenario PIESB" de 0 en el sistema actual a 1 en el escenario. Esta variable, junto con el tiempo de "demora en implementación del PIESB" dan lugar a la mejora en la percepción social para los diferentes capitales a excepción del capital hecho por el hombre (KM). Adicionalmente, activan la implementación de los tratamientos de agua, debido a que de acuerdo con información suministrada por la Secretaría Distrital de Ambiente – SDA, actualmente la idea del PIESB se reduce a la construcción de una PTAR para las curtiembres de San Benito.

Así las cosas, los parámetros a modificar para la herramienta Monte Carlo en 200 corridas, son los siguientes: porcentaje de reducción de carga contaminante Cromo, DBO, DQO y SST, mejora en la percepción de los capitales social (KS), natural (KN) y humano (KH) y demora en implementación del PIESB.

Es importante indicar, que las variables porcentaje de variación demanda calzado y porcentaje de variación demanda marroquinería no serán tenidas en cuenta para el presente análisis de sensibilidad, debido a que de acuerdo con el análisis de resultados en el objetivo 2, se determinó que el capital KM no será objeto de mejora para el PIESB.

Inicialmente, se evalúa qué tan sensible es el índice de sustentabilidad respecto a la modificación de los porcentajes de reducción de carga contaminante, asumiendo los siguientes supuestos: 1) no existe demora en implementación del PIESB; es

decir, en el año 2021 ya se encuentra operando y 2) los valores iniciales de mejora en la percepción social para los capitales, se mantienen constantes.

Bajo estas condiciones, se evidencia que cuando se realiza el análisis de sensibilidad incluyendo el porcentaje de reducción de cromo, la herramienta Monte Carlo no arroja sensibilidad en el índice de sustentabilidad; sin embargo, con un valor de reducción de cromo del 100%, el índice de sustentabilidad es sensible ante la reducción de las cargas contaminantes DBO, DQO y SST.

Así las cosas, en la figura 33 se evalúan los porcentajes de reducción de carga contaminante y se establece que, con un nivel de confianza del 95% sería posible alcanzar una sustentabilidad débil, siempre y cuando el porcentaje de reducción de carga contaminante para los SST, DBO y DQO sea del 87,5%.

Es importante aclarar, que de acuerdo con el modelo de referencia sobre evaluación de parques ecoindustriales basado en la metodología de las 3E: energía, economía y ambiente (Xu et al., 2017), con el análisis de sensibilidad se está evaluando la restricción correspondiente a los límites de eficiencia en el sub-modelo ambiental.

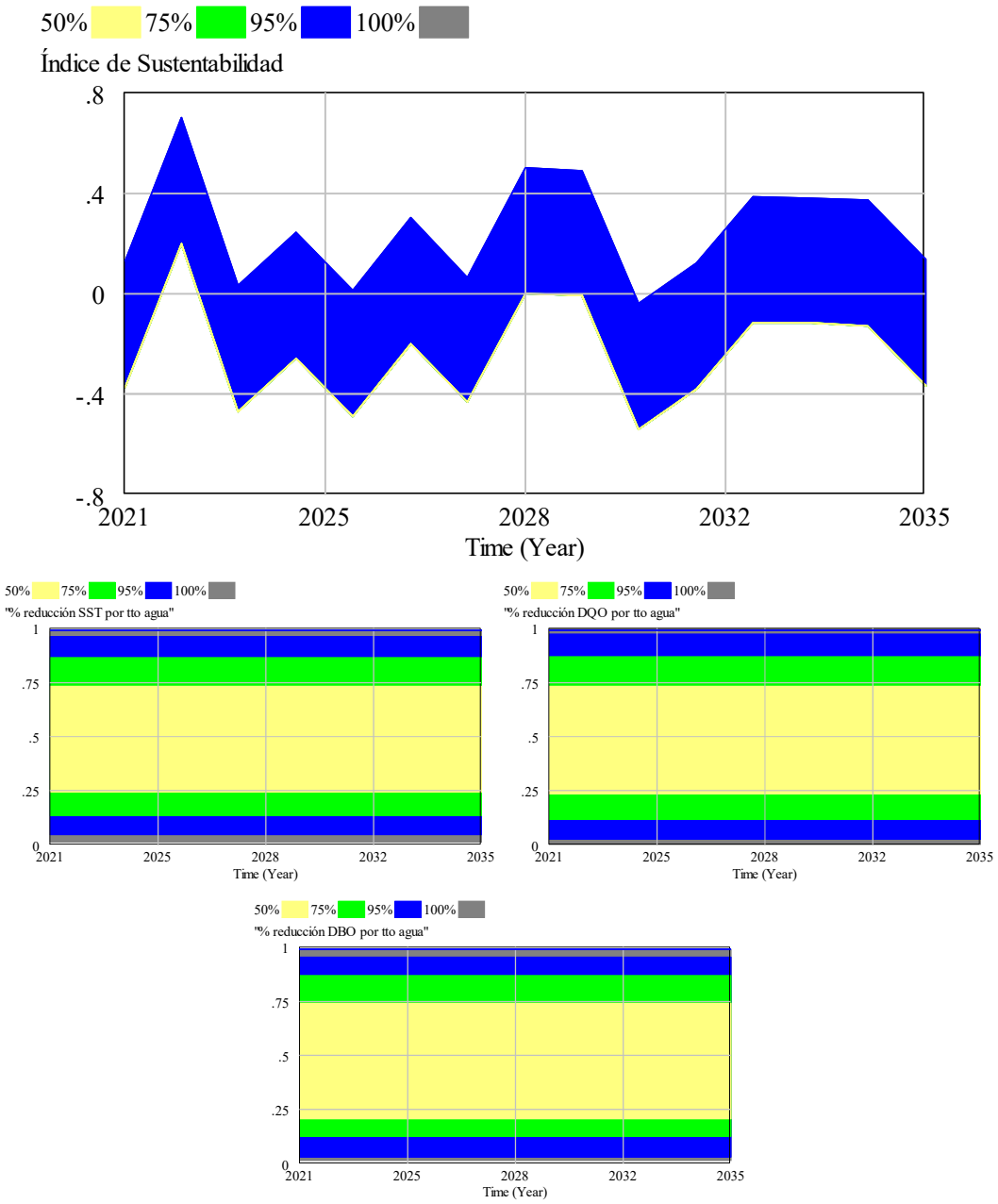


Figura 33. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con los parámetros de % de reducción de carga contaminante para DBO, DQO y SST. Elaboración propia.

Posteriormente, se evalúa la sensibilidad del índice de sustentabilidad ante la modificación de los porcentajes mejora en la percepción social para cada capital de sustentabilidad, asumiendo los siguientes supuestos: 1) no existe demora en implementación del PIESB; es decir, en el año 2021 ya se encuentra operando y 2) no existen tratamientos de agua implementados. Así las cosas, en las figuras 34, 35

y 36 se evalúan los resultados de mejora de la percepción social, por separado y en la figura 37, en conjunto:

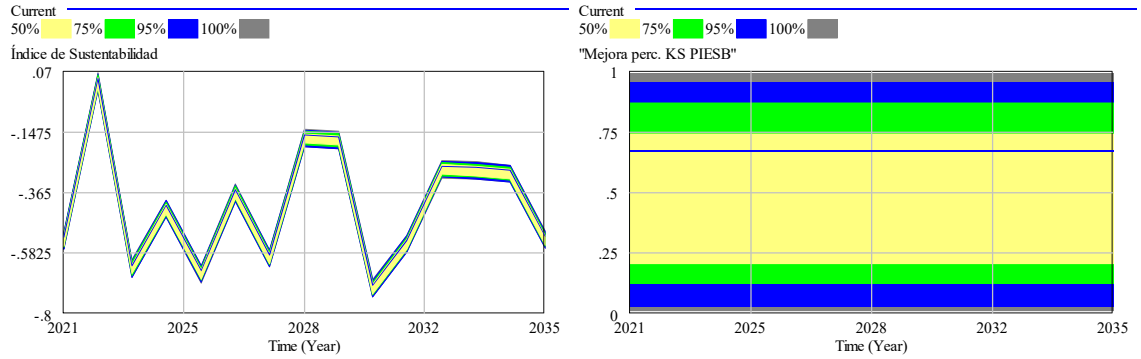


Figura 34. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con mejora en percepción de KS. Elaboración propia.

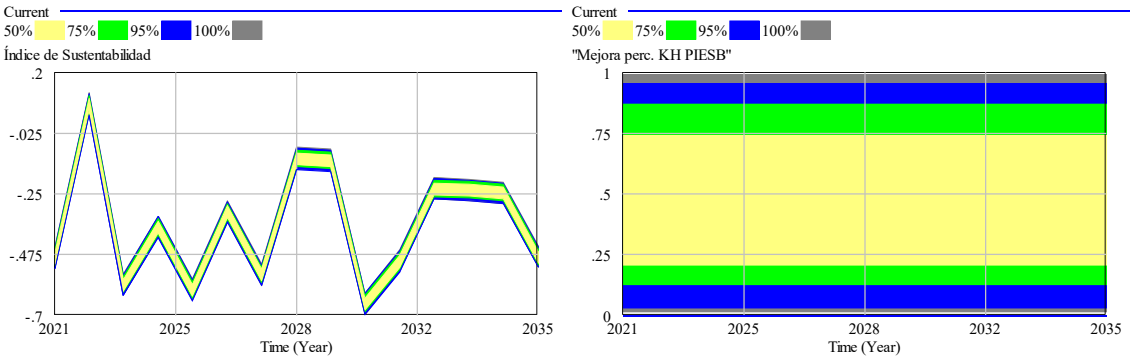


Figura 35. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con mejora en percepción de KH. Elaboración propia.

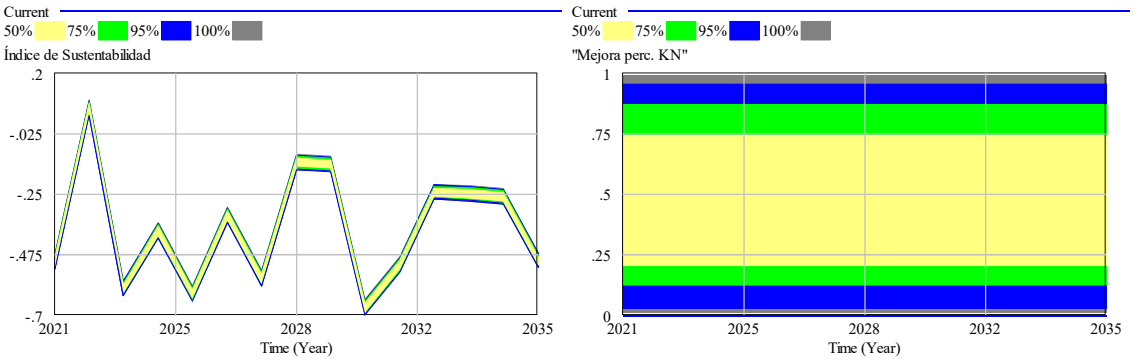


Figura 36. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con mejora en percepción de KN. Elaboración propia.

En las figuras 34, 35 y 36 se evidencia que si únicamente se implementan esfuerzos para mejorar la percepción social en un solo capital y se deja de lado el resto de capitales, a la larga no es posible alcanzar una sustentabilidad débil.

Así mismo, en la figura 37 se evidencia que, si se implementan esfuerzos para mejorar la percepción social para los tres capitales, dejando de lado el tratamiento de vertimientos, no será suficiente para alcanzar una sustentabilidad en el lapso de 15 años.

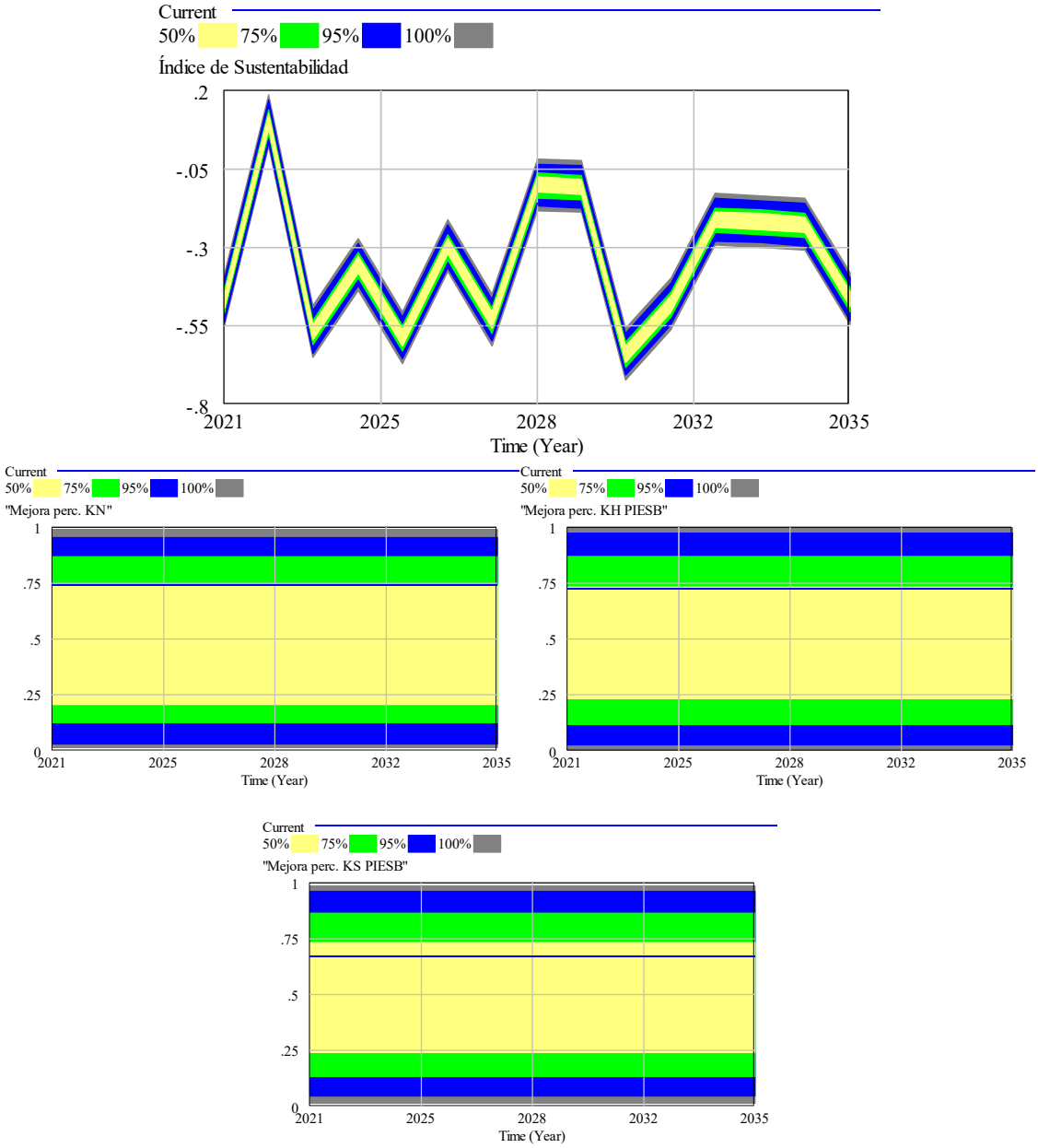


Figura 37. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con mejora en percepción de KH, KS y KN. Elaboración propia.

Para finalizar el presente análisis de sensibilidad, éste se realiza con todos los parámetros del sistema, con el fin de conocer las condiciones bajo las cuales se

debe implementar el PIESB, en forma holística como es posible evidenciar en la figura 38. Esto, bajo el supuesto de que el PIESB inicia su operación en el año 2021, es decir, con una demora en su implementación de 0 años.

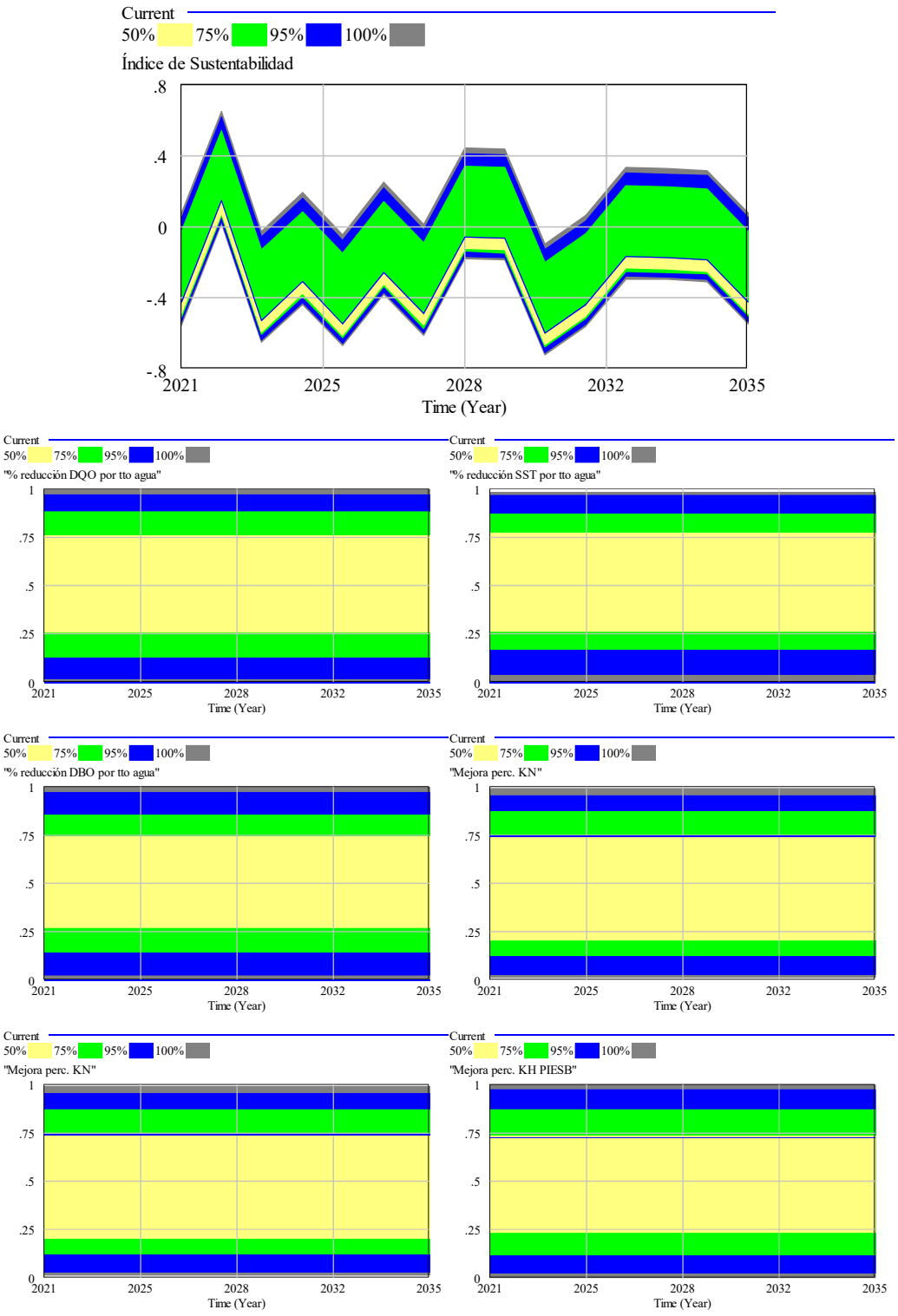


Figura 38. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con todos los parámetros. Elaboración propia.

Dado lo anterior, se evidencia que el índice de sustentabilidad alcanza valores positivos, siempre y cuando los parámetros analizados cumplan los valores correspondientes a un 95% de confianza. Estos valores deben ser mayores o iguales a los determinados en la tabla 30.

Tabla 30. Valores mínimos de los parámetros para alcanzar sustentabilidad. Elaboración propia.

Variable	Valor mínimo
% reducción DQO por tto de agua	88%
% reducción SST por tto de agua	88%
% reducción DBO por tto de agua	86%
Mejora KS por PIESB	88%
Mejora KN por PIESB	88%
Mejora KH por PIESB	88%

Ahora bien, con los valores de los parámetros de la tabla 30, se evalúa qué tan sensible es el índice de sustentabilidad con respecto a la demora en la puesta en marcha del PIESB, de acuerdo con la figura 39.

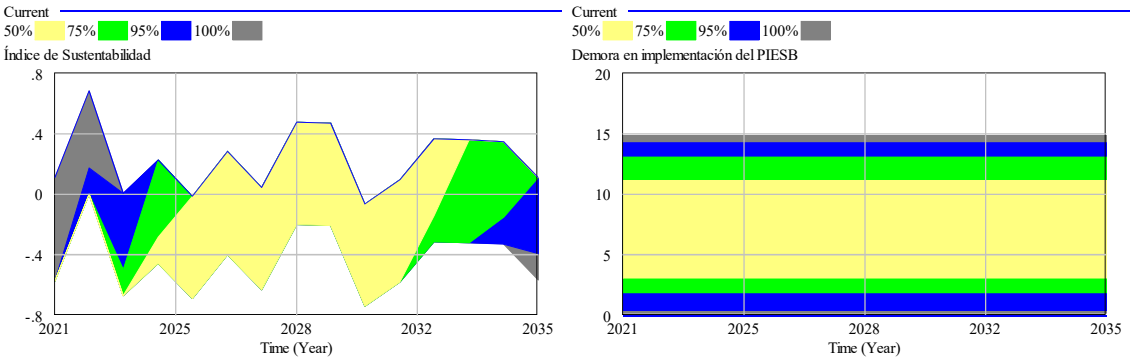


Figura 39. Análisis de sensibilidad Monte Carlo con la demora en la implementación del PIESB. Elaboración propia.

De acuerdo con la figura 39, se evidencia que si la implementación del PIESB se demora más de 1,25 años, existe un nivel de confianza del 75% de que el índice de sustentabilidad sea negativo en una región mayor que la probabilidad de que sea negativo con un nivel de confianza del 95%. Así mismo, con un nivel de confianza del 50%, la sustentabilidad es negativa en la mayoría de períodos. Por consiguiente, la implementación del PIESB debe demorarse como máximo 1,25 años, ya que posterior a ello, es posible que se presenten valores de sustentabilidad negativa y, por lo tanto, no se alcance una sustentabilidad débil.

6.3.2. Comparación del sistema actual con el escenario del PIESB

Este apartado tiene como finalidad visibilizar el comportamiento de la variable principal; es decir, el índice de sustentabilidad del sistema actual en comparación con el escenario del PIESB bajo los parámetros propuestos como resultado del análisis de sensibilidad desarrollado en la anterior sección. En ese orden de ideas, en la figura 40 es posible evidenciar el comportamiento de la sustentabilidad de las curtiembres de San Benito bajo las condiciones actuales y la proyección estimada bajo el escenario de implementación de San Benito.

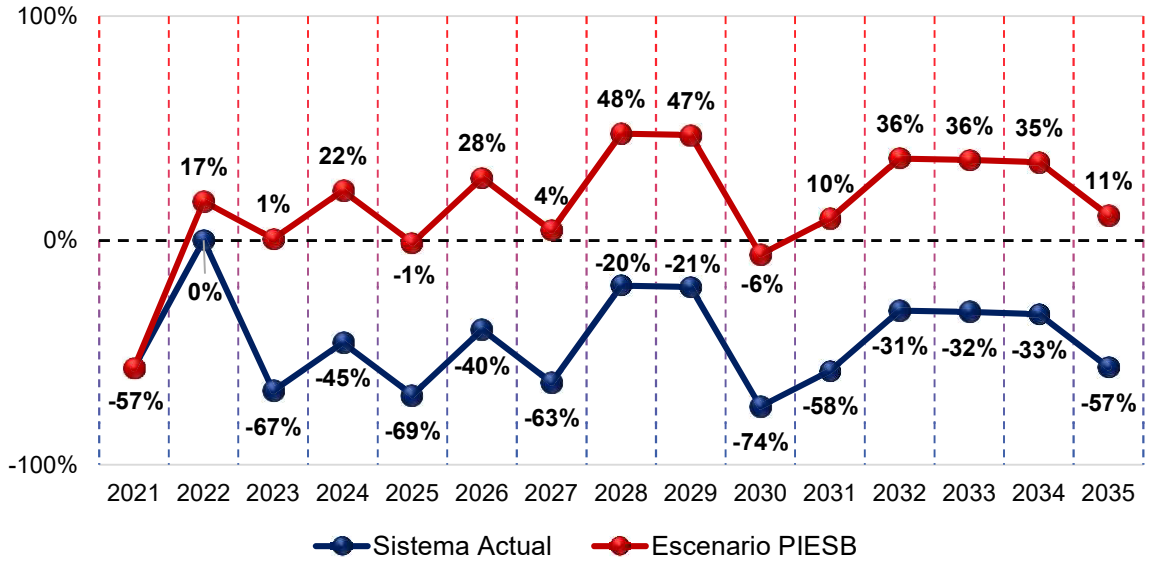


Figura 40. Comparación del comportamiento del Índice de Sustentabilidad bajo las condiciones del sistema actual y las condiciones del escenario PIESB. Elaboración propia.

Dado lo anterior se evidencia que, bajo las condiciones actuales, el valor máximo que podrían alcanzar las curtiembres de San Benito es 0% y el valor mínimo puede llegar hasta -74% para el año 2030. No obstante, con la implementación del PIESB, el valor mínimo sería el inicial de -57% y el valor máximo de sustentabilidad al que se podría llegar sería de 48% para el año 2028.

Adicionalmente, es necesario verificar el supuesto de normalidad de los resultados del índice de sustentabilidad bajo el sistema actual y con las condiciones del PIESB. Para ello, teniendo en cuenta que la población es de 15 años (es decir, menor que

30 registros), se realizará la prueba de Shapiro-Wilk en el software SPSS, como se evidencia en la tabla 31:

Tabla 31. Prueba de Shapiro-Wilk para corroborar normalidad en el comportamiento del Índice de Sustentabilidad bajo las condiciones del sistema actual y las condiciones del escenario PIESB. Elaboración propia. Software SPSS.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p-valor)
SistActual	,949	15	,510
PIESB	,890	15	,068

Dado lo anterior, se evidencia que los p-valor de las dos variables, son mayores a $\alpha=0.05$ dado por el nivel de confianza del 95%; por consiguiente, se acepta la hipótesis nula mediante la cual se corrobora que las variables se comportan normalmente.

Posteriormente, debido a que se comprueba el supuesto de normalidad, se realiza una prueba de diferencia de medias T, para muestras relacionadas. Esta prueba, también conocida como antes-después evalúa en este caso la misma población, es decir, la industria de curtiembres, bajo dos escenarios: actual y PIESB. El resultado de esta prueba se puede observar en la tabla 32, con el fin de determinar si el escenario PIESB tiene un impacto significativo sobre la sustentabilidad de esa industria local. Así, las hipótesis son las siguientes:

Hipótesis nula H_0: no hay diferencia significativa entre los resultados del índice de sustentabilidad en el sistema actual y los resultados después de implementar el PIESB

Hipótesis alterna H_1: existe una diferencia significativa entre los resultados del índice de sustentabilidad en el sistema actual y los resultados después de implementar el PIESB.

Adicionalmente, con un nivel de confianza del 95%, el porcentaje de error al que se está dispuesto a correr al realizar esta prueba es del 5%; esto es $\alpha=0.05$.

Tabla 32. Prueba de diferencia de medias relacionadas T-student para el comportamiento del Índice de Sustentabilidad bajo las condiciones del sistema actual versus las condiciones del escenario PIESB. Elaboración propia. Software SPSS.

Prueba de muestras relacionadas

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	SistActual - PIESB	-,59876	,21058	,05437	-,71537	-,48214	-11,012	14	,000

Teniendo en cuenta que el p-valor (Sig. Bilateral) es de 0.000; es decir, menor al nivel de significancia, que en este caso de α=5% o 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, mediante la que es posible afirmar que existe una diferencia significativa entre los resultados del índice de sustentabilidad en el sistema actual y los resultados después de implementar el PIESB. Por lo cual, se concluye que el PIESB sí tiene efectos positivos sobre el índice de sustentabilidad de la industria de curtiembres de San Benito.

De acuerdo con el modelo de referencia para la evaluación de PIESB, mediante el que analizaron los resultados únicamente del subsistema ambiental (Xu et al., 2017), en la figura 41 se analiza la variable calidad del agua, que integra los parámetros de estudio: Cromo, DBO, DQO y SST tanto para el sistema actual como para el escenario propuesto del PIESB. Es importante indicar, que en el escenario del PIESB el cromo es removido en su totalidad; por consiguiente, como se verá en el siguiente apartado, se sugiere sustituir el cromo del proceso de curtido por los taninos naturales utilizados para la curtición vegetal.

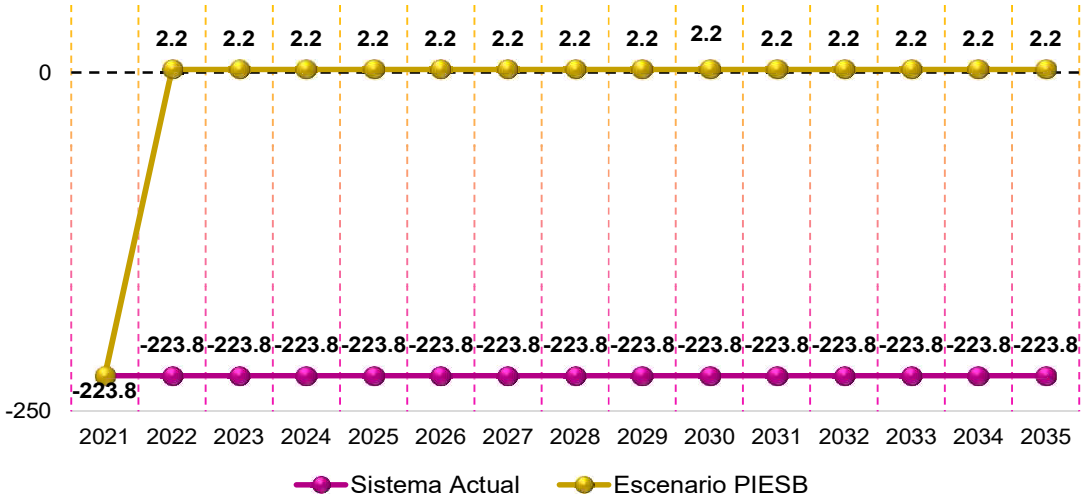


Figura 41. Comparación del comportamiento de la calidad del agua bajo las condiciones del sistema actual y las condiciones del escenario PIESB. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los resultados del sistema actual, se evidencia que sin la implementación del PIESB, no existe una mejora en la calidad del agua; mientras que con la puesta en marcha del PIESB se logra una mejora en la misma, pasando de negativa a positiva bajo el escenario propuesto del parque.

6.3.3. Formulación de recomendaciones de gestión del PIESB

De acuerdo con las figuras 38 y 39, a continuación, se resumen las recomendaciones bajo los cuales deberá operar el PIESB o, de lo contrario, no podrá alcanzar una sustentabilidad débil:

- La construcción del Parque Industrial Ecoeficiente de San Benito – PIESB debe tardar como máximo un tiempo de 1,25 años.

Recomendaciones relacionadas con el capital hecho por el hombre (KH):

- Calibrar la cantidad de cuero producida, con el fin de que se evite incurrir en sobreproducción, de modo que se reduzcan costos de inventario.

Recomendaciones relacionadas con el capital natural (KN):

- El proceso productivo debe sustituir el cromo como agente curtidor por una opción de curtido vegetal, como los taninos.

- La PTAR debe cumplir con los siguientes porcentajes de remoción de carga contaminante:

    - Porcentaje de remoción de DBO = 86%
    - Porcentaje de remoción de DQO = 88%
    - Porcentaje de remoción de SST = 88%

- Llevar a cabo los mecanismos necesarios con el fin de que la percepción social del impacto ambiental negativo mejore en un 88%, valor que se encuentra por encima de la percepción que actualmente tienen las personas de San Benito sobre la mejora que podría aportar el PIESB arrojada por las encuestas, la cual asciende a 74,14%.

  Se sugiere implementar esta mejora con el fin de que cada año el comportamiento de la percepción social del impacto ambiental de las curtiembres logre el objetivo que se muestra en la tabla 33.

Tabla 33. Objetivos por año de percepción social del impacto ambiental de las curtiembres de San Benito. Fuente: Elaboración propia.

Año	Percepción impacto ambiental
2021	-70.62%
2022	-70.62%
2023	-60.61%
2024	-50.60%
2025	-40.59%
2026	-30.58%
2027	-20.57%
2028	-10.56%
2029	-0.55%
2030	9.46%
2031	19.47%
2032	29.48%
2033	39.49%
2034	49.50%
2035	59.51%

Recomendaciones relacionadas con el capital social (KS):

- Llevar a cabo los mecanismos necesarios con el fin de que la percepción social de las variables que componen el capital social mejore en un 88%, valor que se encuentra por encima de la percepción que actualmente tienen las personas de San Benito sobre la mejora que podría aportar el PIESB arrojada por las encuestas, la cual asciende a 67,24%.

  Se sugiere implementar esta mejora con el fin de que año tras año, el comportamiento de la percepción social de las variables asociadas al capital social logre los objetivos que se muestran en la tabla 34. Las variables asociadas al capital social son las siguientes:

  - Cohesión social (CS)
  - Desarrollo económico (DE)
  - Equidad y diversidad (ED)
  - Generación de empleo (GE)
  - Infraestructura y servicios públicos del barrio (SP)
  - Interés en sustentabilidad por parte de las empresas (IS)
  - Legalidad de curtiembres (LC)
  - Patologías sociales (PS)
  - Seguridad y salud ocupacional (SS)

Tabla 34. Objetivos por año de percepción social de los habitantes de San Benito, de las variables asociadas al capital social. Fuente: Elaboración propia.

Año	CS	DE	ED	GE	SP	IS	LC	PS	SS
2021	-7.2%	23.7%	25.3%	32.5%	-13.9%	-9.8%	8.8%	-31.4%	9.3%
2022	-7.2%	23.7%	25.3%	32.5%	-13.9%	-9.8%	8.8%	-31.4%	9.3%
2023	-0.9%	28.2%	29.6%	36.4%	-7.2%	-3.4%	14.1%	-23.7%	14.6%
2024	5.4%	32.7%	34.0%	40.4%	-0.6%	3.1%	19.5%	-16.0%	19.9%
2025	11.7%	37.1%	38.4%	44.4%	6.1%	9.5%	24.8%	-8.3%	25.2%
2026	17.9%	41.6%	42.8%	48.3%	12.8%	16.0%	30.2%	-0.6%	30.6%
2027	24.2%	46.1%	47.2%	52.3%	19.5%	22.4%	35.5%	7.1%	35.9%
2028	30.5%	50.6%	51.6%	56.2%	26.2%	28.9%	40.9%	14.8%	41.2%
2029	36.8%	55.0%	56.0%	60.2%	32.9%	35.3%	46.2%	22.5%	46.5%
2030	43.1%	59.5%	60.3%	64.2%	39.5%	41.7%	51.6%	30.2%	51.9%
2031	49.4%	64.0%	64.7%	68.1%	46.2%	48.2%	56.9%	38.0%	57.2%
2032	55.7%	68.5%	69.1%	72.1%	52.9%	54.6%	62.3%	45.7%	62.5%
2033	62.0%	72.9%	73.5%	76.1%	59.6%	61.1%	67.6%	53.4%	67.8%
2034	68.3%	77.4%	77.9%	80.0%	66.3%	67.5%	73.0%	61.1%	73.1%
2035	74.6%	81.9%	82.3%	84.0%	73.0%	73.9%	78.3%	68.8%	78.5%

Recomendaciones relacionadas con el capital humano (KH):

- Llevar a cabo los mecanismos necesarios con el fin de que la percepción social de las variables que componen el capital humano mejore en un 88%, valor que se encuentra por encima de la percepción que actualmente tienen las personas de San Benito sobre la mejora que podría aportar el PIESB arrojada por las encuestas, la cual asciende a 72,41%.

  Se sugiere implementar esta mejora con el fin de que cada año el comportamiento de la percepción social de las variables asociadas al capital humano sea el que se muestra en la tabla 35.

Tabla 35. Objetivos por año de percepción social de los habitantes de San Benito, de las variables asociadas al capital humano. Fuente: Elaboración propia.

Año	Capacitación / Educación	Patrimonio histórico y cultural	Disminución en las afectaciones a la salud	Sentido de pertenencia con San Benito
2021	-10.8%	-10.8%	-44.3%	-20.1%
2022	-10.8%	-10.8%	-44.3%	-20.1%
2023	-4.3%	-4.3%	-35.9%	-13.1%
2024	2.2%	2.2%	-27.4%	-6.0%
2025	8.7%	8.7%	-18.9%	1.0%
2026	15.2%	15.2%	-10.5%	8.1%
2027	21.7%	21.7%	-2.0%	15.1%
2028	28.2%	28.2%	6.5%	22.2%
2029	34.7%	34.7%	14.9%	29.2%
2030	41.2%	41.2%	23.4%	36.3%
2031	47.7%	47.7%	31.9%	43.3%
2032	54.2%	54.2%	40.3%	50.4%
2033	60.7%	60.7%	48.8%	57.4%
2034	67.2%	67.2%	57.3%	64.4%
2035	73.7%	73.7%	65.7%	71.5%

7. CONCLUSIONES

- La tendencia del enfoque de las variables en la actualidad, es incluir dentro de los modelos las herramientas de la gestión de residuos, como son disposición a relleno sanitario, incineración, compostaje y tratamientos biomecánicos; se sugiere que para modelos posteriores se haga inclusión de todas las herramientas disponibles aplicables al caso de estudio particular que se desee modelar.
- Adicionalmente, es necesario incluir dentro de los modelos de gestión de residuos las variables relacionadas con la calidad de los ecosistemas y variables económicas de subvención y penalización.
- China, con una participación del 16% de los artículos revisados en gestión de residuos, se está enfocando en modelación de sistemas de residuos electrónicos; por consiguiente, se sugiere efectuar investigaciones en casos de estudio específicos con ese enfoque, para los países latinoamericanos en general y para Colombia específicamente.
- Existe escasez en investigación sobre modelos de dinámica de sistemas que realmente evalúen sustentabilidad en procesos industriales, ya que de 70 documentos arrojados por los motores de búsqueda con las palabras clave que permiten filtrar por los criterios de exclusión (61 documentos para Google Scholar, 8 para Science Direct y 1 para SpringerLink), únicamente 3 desarrollan un modelo dinámico o parte del mismo para este tema; es decir, un 5% de la totalidad de artículos seleccionados.
- De la revisión bibliográfica sobre sustentabilidad en procesos industriales, se encontró que como variables del sub-sistema social únicamente se encuentran la participación, conformidad con las leyes, seguimiento al desempeño de criterios y seguridad alimentaria; por consiguiente, se sugiere fortalecer el sub-sistema social de los modelos dinámicos, incluyendo variables relacionadas con la percepción que tienen las personas sobre la sustentabilidad en procesos industriales.

- Se evidencia que la herramienta más pertinente para evaluar la percepción social de la sustentabilidad en procesos industriales es la encuesta semiestructurada, citada por los artículos relacionados con una frecuencia del 60,57% (Q2).
- Adicionalmente, la escala que mejor se adecúa para la evaluación de la percepción social de la sustentabilidad en procesos industriales es la escala Likert, utilizada en el 40% de los documentos revisados.
- Se concluye que en la mayoría de artículos, las preguntas que se realizan con mayor frecuencia y que determinan la importancia de la percepción social de los diferentes capitales corresponden en primera medida al capital natural (KN), seguido de las interacciones entre las personas, instituciones y el gobierno (KS) y finalmente, el capital humano (KH). Así mismo, se evidencia que la percepción social no es involucrada en el capital hecho por el hombre por bienes producidos (KM).
- Se evidencia que es posible modelar la sustentabilidad a través del tiempo mediante la dinámica de sistemas, incluyendo tanto variables cuantitativas como de percepción social, de acuerdo con la validación del modelo y sus resultados utilizando el método Montecarlo.
- El comportamiento de la sustentabilidad, si bien se encuentra determinado por el capital hecho por el hombre (KM), sus valores se encuentran afectados por los otros capitales (KN, KS y KH); por consiguiente, se hacen necesarias medidas que incrementen los mismos en el tiempo en un 88%, si se quiere llegar a alcanzar una sustentabilidad débil.
- Debido a que no es posible conocer el comportamiento de la percepción social en el tiempo, se recomienda anualmente medir la misma con o sin escenario de Parque Industrial Ecoeficiente en San Benito, con el fin de conocer si ésta presenta algún tipo de cambios temporales o si permanece igual en condiciones constantes.
- La industria de curtiembres cuenta con una capacidad productiva suficiente para atender la demanda; por consiguiente, no se hace necesario

implementar esfuerzos en aumentarla; de hecho, se estima una sobreproducción de cuero.

- Los esfuerzos que se realicen en el PIESB deberán estar encaminados hacia fortalecer los capitales de recursos naturales (KN), social (KS) y humano (KH), debido a que el capital de bienes producidos por el hombre (KM) se encuentra determinado por el comportamiento de la demanda de cuero, la cual es una variable para la que no es posible ejercer un control directo en el sistema.
- Es posible alcanzar sustentabilidad débil al implementar el PIESB; siempre y cuando se sustituya el cromo como agente curtidor, la reducción de la carga contaminante DBO se encuentre por encima del 86% y la reducción de las cargas contaminantes de DQO y SST y la mejora en la percepción social se encuentren por encima del 88%.
- Se sugiere encaminar las futuras investigaciones hacia los requerimientos estrictamente técnicos para el correcto funcionamiento del PIESB y lograr los objetivos descritos en el apartado *"6.3.3. Formulación de recomendaciones de gestión del PIESB"* del presente documento, debido a que el modelo del presente trabajo tiene un enfoque socio-ambiental.

8. BIBLIOGRAFÍA

Adamides, E. D., Mitropoulos, P., Giannikos, I., & Mitropoulos, I. (2009). A multi-methodological approach to the development of a regional solid waste management system. *Journal of the Operational Research Society*, *60*(6), 758-770.

Aizstrauta, D., & Ginters, E. (2015). Integrated Acceptance and Sustainability Assessment Model Transformations into Executable System Dynamics Model. *Procedia Computer Science*, *77*, 92-97. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.364

Aizstrauta, D., & Ginters, E. (2017). Using Market Data of Technologies to Build a Dynamic Integrated Acceptance and Sustainability Assessment Model. *Procedia Computer Science*, *104*, 501-508. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.165

Aizstrauta, D., Ginters, E., & Eroles, M.-A. P. (2015). Applying Theory of Diffusion of Innovations to Evaluate Technology Acceptance and Sustainability. *Procedia Computer Science*, *43*, 69-77. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.12.010

Al-Khatib, I. A., Eleyan, D., & Garfield, J. (2015). A system dynamics model to predict municipal waste generation and management costs in developing areas [Article]. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, *41*(2), 109-120. https://doi.org/10.5276/JSWTM.2015.109

Al-Sharrah, G., Elkamel, A., & Almanssoor, A. (2010). Sustainability indicators for decision-making and optimisation in the process industry: The case of the petrochemical industry. *Chemical Engineering Science*, *65*(4), 1452-1461.

Alamerew, Y. A., & Brissaud, D. (2018). Modelling and Assessment of Product Recovery Strategies through Systems Dynamics. *Procedia CIRP*, *69*, 822-826. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.149

Alrashoud, K., & Tokimatsu, K. (2020). An exploratory study of the public's views on residential solar photovoltaic systems in oil-rich Saudi Arabia. *Environmental Development*, *35*, 100526. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100526

Por la cual se establecen estándares ambientales en materia de vertimientos., (1997a).

Por la cual se fijan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), (1997b).

Ambiente, S. D. d. (2007). *Diagnóstico POMCA Tunjuelito*. Bogotá D.C.

Andrade, M., & Caamaño-Franco, I. (2018). Theoretical and methodological model for the study of social perception of the impact of industrial tourism on local development. *Social Sciences*, *7*(11), 217.

Ansari, N., & Seifi, A. (2012). A system dynamics analysis of energy consumption and corrective policies in Iranian iron and steel industry. *Energy*, *43*(1), 334-343.

Ansari, N., & Seifi, A. (2013). A system dynamics model for analyzing energy consumption and CO2 emission in Iranian cement industry under various production and export scenarios. *Energy Policy*, *58*, 75-89.

Aprendizaje, S. N. d. (2004). Caracterización Ocupacional de la Cadena del Cuero en Colombia. In (pp. 106). Medellín, Colombia.: SENA.

Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de Sistemas* (A. E. S.A., Ed. Primera ed.).

Aslani, A., Helo, P., & Naaranoja, M. (2014). Role of renewable energy policies in energy dependency in Finland: System dynamics approach. *Applied energy*, *113*, 758-765.

Banks, J., Carson, J., Nelson, B., & Nicol, D. (2004). *DISCRETE-EVENT SYSTEM SIMULATION* (e. W.J. Fabrycky and J.J. Mize, Ed. Fourth Edition ed.). Pearson - Prentice Hall.

Banos-González, I., Martínez-Fernández, J., & Esteve-Selma, M. Á. (2015). Dynamic integration of sustainability indicators in insular socio-ecological systems. *Ecological Modelling*, *306*, 130-144. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.014

Bautista, S., Enjolras, M., Narvaez, P., Camargo, M., & Morel, L. (2016). Biodiesel-triple bottom line (TBL): A new hierarchical sustainability assessment framework of principles criteria & indicators (PC&I) for biodiesel production. Part II-validation. *Ecological Indicators*, *69*, 803-817. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.046

Blumberga, A., Timma, L., Romagnoli, F., & Blumberga, D. (2015). Dynamic modelling of a collection scheme of waste portable batteries for ecological and economic sustainability [Article]. *Journal of Cleaner Production*, *88*, 224-233. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.063

Bogotá, A. M. d. (2004). *RECORRIENDO TUNJUELITO. DIAGNÓSTICO FÍSICO Y SOCIOECONÓMICO DE LAS LOCALIDADES DE BOGOTÁ D.C.*

BOGOTÁ, A. M. D., AMBIENTE, S. D. D., & CALDAS, U. D. F. J. D. (2010). *Guía para la gestión y manejo integral de residuos Industria de Curtiembres y Tenerías*. Bogotá D.C.: SDA

Cai, L., & Liu, Y. (2013). Application of system dynamics for municipal waste management in China: a case study of Beijing. Conference Proceedings of the 31st International Conference of the System Dynamics Society,

Chaerul, M., Tanaka, M., & Shekdar, A. V. (2008). A system dynamics approach for hospital waste management [Article]. *Waste Management*, *28*(2), 442-449. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.01.007

Chen, M., Giannis, A., & Wang, J. Y. (2012). Application of system dynamics model for municipal solid waste generation and landfill capacity evaluation in Singapore.

Choumert-Nkolo, J. (2018). Developing a socially inclusive and sustainable natural gas sector in Tanzania. *Energy Policy*, *118*, 356-371. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.03.070

Consultores, P., D.C., A. M. d. B., & DAMA, D. T. A. d. M. A.-. (1999). *Estudio de factibilidad de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Benito Bogotá D.C.: resultados consolidados monitoreos en industrias curtidoras*. Bogotá D.C.: Alcaldía Mayor de Bogotá

Cossío Campeán, J. B., Kuniyoshi Arita, H. L., Moreno Begazo, J. B., Paredes Rosales, R. M., & Vásquez Castro, A. E. Propuestas de mejora de la responsabilidad social empresarial en la cadena alimentaria de las grandes empresas peruanas.

Cossío Campeán, J. B., Kuniyoshi Arita, H. L., Moreno Begazo, J. B., Paredes Rosales, R. M., & Vásquez Castro, A. E. (2016). Propuestas de mejora de la responsabilidad social empresarial en la cadena alimentaria de las grandes empresas peruanas.

Dace, E., Bazbauers, G., Berzina, A., & Davidsen, P. I. (2014). System dynamics model for analyzing effects of eco-design policy on packaging waste management system [Article]. *Resources, Conservation and Recycling*, *87*, 175-190. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.04.004

DAMA, D. T. A. d. M. A.-. (2004). *GUÍA AMBIENTAL PARA EL SECTOR CURTIEMBRES*. Bogotá D.C. Retrieved from http://www.cortolima.gov.co/SIGAM/Series/curtiembres.pdf

Dasgupta, D., Debsarkar, A., Hazra, T., Bala, B. K., Gangopadhyay, A., & Chatterjee, D. (2017). Scenario of future e-waste generation and recycle-reuse-landfill-based disposal pattern in India: a system dynamics approach. *Environment, Development and Sustainability*, *19*(4), 1473-1487. https://doi.org/10.1007/s10668-016-9815-6

Di Nola, M. F., Escapa, M., & Ansah, J. P. (2018). Modelling solid waste management solutions: The case of Campania, Italy. *Waste Management*, *78*, 717-729. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.006

Ding, Z., Yi, G., Tam, V. W. Y., & Huang, T. (2016). A system dynamics-based environmental performance simulation of construction waste reduction management in China. *Waste Management*, *51*, 130-141. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.001

Dyson, B., & Chang, N. B. (2005). Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling [Article]. *Waste Management*, *25*(7), 669-679. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.10.005

Económico, S. D. d. D. (2010). *CUADERNO No. 1 AGLOMERACIÓN, DESARROLLO E INTEGRACIÓN REGIONAL*. Bogotá D.C. Retrieved from http://www.desarrolloeconomico.gov.co/observatorio-de-desarrollo-economico#

Ercilla-Montserrat, M., Sanjuan-Delmás, D., Sanyé-Mengual, E., Calvet-Mir, L., Banderas, K., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2019). Analysis of the consumer's perception of urban food products from a soilless system in rooftop greenhouses: a case study from the Mediterranean area of Barcelona (Spain). *Agriculture and Human Values*, *36*(3), 375-393. https://doi.org/10.1007/s10460-019-09920-7

Espinoza, A., Bautista, S., Narváez, P. C., Alfaro, M., & Camargo, M. (2017). Sustainability assessment to support governmental biodiesel policy in Colombia: A system dynamics model. *Journal of Cleaner Production*, *141*, 1145-1163. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.168

Sentencia del Río Bogotá - Segundo Fallo 28 de marzo de 2014, 1176 (2014).

Estay-Ossandon, C., & Mena-Nieto, A. (2018). Modelling the driving forces of the municipal solid waste generation in touristic islands. A case study of the Balearic Islands (2000â2030) [Article]. *Waste Management*, *75*, 70-81. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.029

Estay-Ossandon, C., & Mena-Nieto, A. (2018). Modelling the driving forces of the municipal solid waste generation in touristic islands. A case study of the Balearic Islands (2000–2030). *Waste Management*, *75*, 70-81. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.029

Estay-Ossandon, C., Mena-Nieto, A., & Harsch, N. (2018). Using a fuzzy TOPSIS-based scenario analysis to improve municipal solid waste planning and forecasting: A case study of Canary archipelago (1999–2030). *Journal of Cleaner Production*, *176*, 1198-1212. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.324

Feng, Y. Y., Chen, S. Q., & Zhang, L. X. (2013). System dynamics modeling for urban energy consumption and CO2 emissions: A case study of Beijing, China [Article]. *Ecological Modelling*, *252*(1), 44-52. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.09.008

Fouladi, J., AlNouss, A., & Al-Ansari, T. (2021). Sustainable energy-water-food nexus integration and optimisation in eco-industrial parks. *Computers & Chemical Engineering*, *146*, 107229. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2021.107229

Genc, O., Kurt, A., Yazan, D. M., & Erdis, E. (2020). Circular eco-industrial park design inspired by nature: An integrated non-linear optimization, location, and food web analysis. *Journal of Environmental Management*, *270*, 110866. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110866

Georgiadis, P. (2013). An integrated System Dynamics model for strategic capacity planning in closed-loop recycling networks: A dynamic analysis for the paper industry. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *32*, 116-137. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.simpat.2012.11.009

Georgiadis, P., & Besiou, M. (2010). Environmental and economical sustainability of WEEE closed-loop supply chains with recycling: A system dynamics analysis [Article]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *47*(5-8), 475-493. https://doi.org/10.1007/s00170-009-2362-7

Ghisolfi, V., Diniz Chaves, G. d. L., Ribeiro Siman, R., & Xavier, L. H. (2017). System dynamics applied to closed loop supply chains of desktops and laptops in Brazil: A perspective for social inclusion of waste pickers. *Waste Management*, *60*, 14-31. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.018

Ghisolfi, V., Diniz Chaves, G. D. L., Ribeiro Siman, R., & Xavier, L. H. (2017). System dynamics applied to closed loop supply chains of desktops and laptops in Brazil: A perspective for social inclusion of waste pickers [Article]. *Waste Management*, *60*, 14-31. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.018

Giannis, A., Chen, M., Yin, K., Tong, H., & Veksha, A. (2017). Application of system dynamics modeling for evaluation of different recycling scenarios in Singapore [Article]. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, *19*(3), 1177-1185. https://doi.org/10.1007/s10163-016-0503-2

Golroudbary, S. R., & Zahraee, S. M. (2015). System dynamics model for optimizing the recycling and collection of waste material in a closed-loop supply chain [Article]. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *53*, 88-102, Article 1481. https://doi.org/10.1016/j.simpat.2015.02.001

Gregoriades, A., & Karakostas, B. (2004). Unifying business objects and system dynamics as a paradigm for developing decision support systems. *Decision Support Systems*, *37*(2), 307-311. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-9236(03)00004-6

Guan, D., Gao, W., Su, W., Li, H., & Hokao, K. (2011). Modeling and dynamic assessment of urban economy–resource–environment system with a coupled system dynamics – geographic information system model. *Ecological Indicators*, *11*(5), 1333-1344. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.02.007

Gulipac, S. (2016). Industrial Symbiosis: Building on Kalundborg's waste management experience. *Renewable Energy Focus*, *17*(1), 25-27. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ref.2015.11.015

Güneralp, B., & Barlas, Y. (2003). Dynamic modelling of a shallow freshwater lake for ecological and economic sustainability [Article]. *Ecological Modelling*, *167*(1-2), 115-138. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00172-8

Halog, A. (2011). Sustainable development of bioenergy sector: An integrated methodological framework [Article]. *International Journal of Multicriteria Decision Making*, *1*(3), 338-361. https://doi.org/10.1504/IJMCDM.2011.041193

Hong, H., & Gasparatos, A. (2020). Eco-industrial parks in China: Key institutional aspects, sustainability impacts, and implementation challenges. *Journal of Cleaner Production*, *274*, 122853. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122853

Inghels, D., & Dullaert, W. (2011). An analysis of household waste management policy using system dynamics modelling [Article]. *Waste Management and Research*, *29*(4), 351-370. https://doi.org/10.1177/0734242X10373800

Inghels, D., & Dullaert, W. (2011). An analysis of household waste management policy using system dynamics modelling. *Waste management & research*, *29*(4), 351-370.

Inghels, D., Dullaert, W., Raa, B., & Walther, G. (2016). Influence of composition, amount and life span of passenger cars on end-of-life vehicles waste in Belgium: A system dynamics approach [Article]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *91*, 80-104. https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.06.005

Jokar, Z., & Mokhtar, A. (2018). Policy making in the cement industry for CO2 mitigation on the pathway of sustainable development- A system dynamics approach. *Journal of Cleaner Production*, *201*, 142-155. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.286

Karavezyris, V., Timpe, K. P., & Marzi, R. (2002). Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste [Article]. *Mathematics and Computers in Simulation*, *60*(3-5), 149-158. https://doi.org/10.1016/S0378-4754(02)00010-1

Kollikkathara, N., Feng, H., & Yu, D. (2010). A system dynamic modeling approach for evaluating municipal solid waste generation, landfill capacity and related cost management issues. *Waste Management*, *30*(11), 2194-2203. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.05.012

Labuschagne, C., & Brent, A. C. (2008). An industry perspective of the completeness and relevance of a social assessment framework for project and technology management in the manufacturing sector. *Journal of Cleaner Production*, *16*(3), 253-262. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.028

Lee, C. K. M., Ng, K. K. H., Kwong, C. K., & Tay, S. T. (2018). A system dynamics model for evaluating food waste management in Hong Kong, China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 1-24.

Lee, S., Geum, Y., Lee, H., & Park, Y. (2012). Dynamic and multidimensional measurement of product-service system (PSS) sustainability: a triple bottom line (TBL)-based system dynamics approach. *Journal of Cleaner Production*, *32*, 173-182. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.032

Li, F. J., Dong, S. C., & Li, F. (2012). A system dynamics model for analyzing the eco-agriculture system with policy recommendations [Article]. *Ecological Modelling*, *227*, 34-45. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.12.005

Limpia, C. N. d. P. M. (2004). DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL SECTOR CURTIEMBRE EN COLOMBIA In. Bogotá D.C.: SIRAC

Limpia, C. N. d. P. m. (2004a). El impacto ambiental de la industria curtidora. In (pp. 17). Bogotá D.C.: SIRAC.

Limpia, C. N. d. P. m. (2004b). Manual Ambiental Sectorial. In SENA (Ed.), (pp. 53). Bogotá D.C.: SIRAC.

Liu, H., Benoit, G., Liu, T., Liu, Y., & Guo, H. (2015). An integrated system dynamics model developed for managing lake water quality at the watershed scale. *Journal of Environmental Management*, *155*, 11-23. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.02.046

Long, F., Song, B., Wang, Q., Xia, X., & Xue, L. (2012). Scenarios simulation on municipal plastic waste generation of different functional areas of Beijing [Article]. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, *14*(3), 250-258. https://doi.org/10.1007/s10163-012-0066-9

Madani, K., & Mariño, M. A. (2009). System dynamics analysis for managing Iran's Zayandeh-Rud river basin. *Water resources management*, *23*(11), 2163-2187.

Majore, G., Zakis, V., Zake, M., Ginters, E., Zakis, K., & Fjodorovs, A. (2015). Holistic Benchmarking of the Bio-economy in Protected Landscape Areas. *Procedia Computer Science*, *43*, 118-126. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.12.016

Matlaba, V. J., Mota, J. A., Maneschy, M. C., & Filipe dos Santos, J. (2017). Social perception at the onset of a mining development in Eastern Amazonia, Brazil. *Resources Policy*, *54*, 157-166. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.09.012

Mavrommati, G., Bithas, K., & Panayiotidis, P. (2013). Operationalizing sustainability in urban coastal systems: A system dynamics analysis [Article]. *Water Research*, *47*(20), 7235-7250. https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.041

Melkonyan, A., Krumme, K., Gruchmann, T., & De La Torre, G. (2017). Sustainability assessment and climate change resilience in food production and supply. *Energy Procedia*, *123*, 131-138. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.236

Millward-Hopkins, J., Busch, J., Purnell, P., Zwirner, O., Velis, C. A., Brown, A., . . . Iacovidou, E. (2018). Fully integrated modelling for sustainability assessment of resource recovery from waste [Article]. *Science of the Total Environment*, *612*, 613-624. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.211

MINCIT - Ministerio de Comercio, I. y. T. (2019). *Con apoyo de Suiza, MinComercio lanza proyecto de economía circular para cuatro parques industriales*. www.mincit.gov.co. https://www.mincit.gov.co/prensa/noticias/industria/con-apoyo-de-suiza-mincomercio-lanza-proyecto-de-e

Ministerio de Ambiente, V. y. D. T. (2006). *GUÍA AMBIENTAL PARA LA INDUSTRIA DEL CURTIDO Y PREPARADO DE CUEROS*. Bogotá D.C.: Panamericana Formas e Impresos S.A. Retrieved from www.minambiente.gov.co/documentos/guia_ambiental_industria_curtido_y_preparado_de_cueros.pdf

Moallemi, E. A., Aye, L., de Haan, F. J., & Webb, J. M. (2017). A dual narrative-modelling approach for evaluating socio-technical transitions in electricity sectors [Article]. *Journal of Cleaner Production*, *162*, 1210-1224. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.118

Mota-López, D.-R., Sánchez-Ramírez, C., González-Huerta, M.-Á., Jiménez-Nieto, Y. A., & Rodríguez-Parada, A. (2018). A systemic conceptual model to assess the sustainability of industrial ecosystems. In *New perspectives on applied industrial tools and techniques* (pp. 451-475). Springer.

Musango, J. K., Brent, A. C., Amigun, B., Pretorius, L., & Müller, H. (2011). Technology sustainability assessment of biodiesel development in South Africa: A system dynamics approach [Article]. *Energy*, *36*(12), 6922-6940. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.09.028

Musango, J. K., Brent, A. C., Amigun, B., Pretorius, L., & Müller, H. (2012). A system dynamics approach to technology sustainability assessment: The case of biodiesel developments in South Africa [Article]. *Technovation*, *32*(11), 639-651. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.06.003

Musse, J. d. O., Homrich, A. S., de Mello, R., & Carvalho, M. M. (2018). Applying backcasting and system dynamics towards sustainable development: The housing planning case for low-income citizens in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, *193*, 97-114. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.219

Méndez Giraldo, G. A. (2012). Dinámica de sistemas y problemática social. In (Primera ed., pp. 195). Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Onat, N. C., Kucukvar, M., & Tatari, O. (2016). Uncertainty-embedded dynamic life cycle sustainability assessment framework: An ex-ante perspective on the impacts of alternative vehicle options. *Energy*, *112*, 715-728. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.129

ONUDI. (1994). *Asistencia a la Zona Industrial de Curtiembres de San Benito*. Bogotá D.C.

ONUDI, & Industrial, O. d. l. N. U. p. e. D. (2017). *Guía Práctica: Parques Industriales Sostenibles - PaIS*. Suiza

ONUDI, las, O. d., & Industrial, N. U. p. e. D. (2017). *Manual de Implementación para Parques Eco-Industriales*. Suiza: ONUDI

ONUDI, las, O. d., & Industrial, N. U. p. e. D. (2019). *ECO-INDUSTRIAL PARKS ACHIEVEMENTS AND KEY INSIGHTS FROM THE GLOBAL RECP PROGRAMME 2012-2018*. Suiza

Pearce, D., & Atkinson, G. (1998). The concept of sustainable development: An evaluation of its usefulness ten years after Brundtland. *Revue Suisse d Economie Politique et de Statistique*, *134*, 251-270.

Planeación, S.-S. D. d. (2020). Revisión Ordinaria del POT Presentación del Diagnóstico Tunjuelito. In (pp. 47). www.sdp.gov.co.

Preciado Beltrán, J., Leal Pulido, R. O., & Almanza Castañeda, C. (2012). *Historia Ambiental de Bogotá, siglo XX* (Primera ed.). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Pubule, J., Blumberga, A., Romagnoli, F., & Blumberga, D. (2015). Finding an optimal solution for biowaste management in the Baltic States [Article]. *Journal of Cleaner Production*, *88*, 214-223. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.053

Quiroga Tapias, G., & Maldonado Carrillo, M. (2007). *Manual de buenas prácticas para la producción y obtención de la piel de Ganado Bovino*. Bogotá D.C.: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Asociación Nacional de Empresarios de Colombia - ANDI Federación Colombiana de Ganaderos - FEDEGAN

Rebs, T., Brandenburg, M., & Seuring, S. (2018). System dynamics modeling for sustainable supply chain management: A literature review and systems thinking approach. *Journal of Cleaner Production*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.100

Rehan, R., Knight, M. A., Haas, C. T., & Unger, A. J. A. (2011). Application of system dynamics for developing financially self-sustaining management policies for water and wastewater systems. *Water Research*, *45*(16), 4737-4750. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.06.001

Rojas, D. Y. (2010). *SIMULACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO MECÁNICO BIOLÓGICO A LOS RESIDUOS URBANOS. EL CASO DE LA CIUDAD DE GENERAL PICO.* Universidad de La Pampa]. Argentina.

Rubio de Val, J. (2011). Rehabilitación Urbana en España (1989-2010). Barreras actuales y sugerencias para su eliminación. *Informes de la Construcción*, *63*, 5-20.

Sajid, Z., & Lynch, N. (2018). Financial modelling strategies for social life cycle assessment: a project appraisal of biodiesel production and sustainability in Newfoundland and Labrador, Canada. *Sustainability*, *10*(9), 3289.

Salas, D., Van, K. C., Aussel, D., & Montastruc, L. (2020). Optimal design of exchange networks with blind inputs and its application to Eco-industrial parks. *Computers & Chemical Engineering*, *143*, 107053. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.107053

Salazar, M. (2013). *Implementación de logística reversiva como modelo administrativo en el Sector Industrial de curtiembres de San Benito en Bogotá.* Universidad EAN]. Bogotá D.C.

Saysel, A. K., & Barlas, Y. (2001). A dynamic model of salinization on irrigated lands. *Ecological Modelling*, *139*(2), 177-199. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00242-3

Schwaninger, M., Ulli-Beer, S., & Kaufmann-Hayoz, R. (2008). Policy Analysis and Design in Local Public Management A System Dynamics Approach. In G. H. Hadorn, H. Hoffmann-Riem, S. Biber-Klemm, W. Grossenbacher-Mansuy, D. Joye, C. Pohl, U. Wiesmann, & E. Zemp (Eds.), *Handbook of Transdisciplinary Research* (pp. 205-221). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6699-3_13

Shi, T., & Gill, R. (2005). Developing effective policies for the sustainable development of ecological agriculture in China: The case study of Jinshan County with a systems dynamics model [Article]. *Ecological Economics*, *53*(2), 223-246. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.08.006

Sostenible, M.-M. d. A. y. D. (2022). Tarifa mínima tasa retributiva por vertimientos puntuales al agua. In.

Stave, K. A. (2003). A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada. *Journal of Environmental Management*, *67*(4), 303-313. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0301-4797(02)00205-0

Sukholthaman, P., & Sharp, A. (2016). A system dynamics model to evaluate effects of source separation of municipal solid waste management: A case of Bangkok, Thailand [Article]. *Waste Management*, *52*, 50-61. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.026

Sušnik, J., Vamvakeridou-Lyroudia, L. S., Savić, D. A., & Kapelan, Z. (2012). Integrated System Dynamics Modelling for water scarcity assessment: Case study of the Kairouan region. *Science of The Total Environment*, *440*, 290-306. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.085

Sánchez-Arias, M., Riojas-Rodríguez, H., Catalán-Vázquez, M., Terrazas-Meraz, M. A., Rosas, I., Espinosa-García, A. C., . . . Siebe, C. (2019). Socio-environmental assessment of a landfill using a mixed study design: A case study from México. *Waste Management*, *85*, 42-59. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.012

Sánchez-Triana, E., Ahmed, K., & Awe, Y. (2007). Prioridades ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia. In *Un análisis ambiental del país para Colombia* (pp. 522). Bogotá D.C.: Banco Mundial.

Tan, Y., Jiao, L., Shuai, C., & Shen, L. (2018). A system dynamics model for simulating urban sustainability performance: A China case study. *Journal of Cleaner Production*, *199*, 1107-1115. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.154

Thompson, B. P., & Bank, L. C. (2010). Use of system dynamics as a decision-making tool in building design and operation. *Building and Environment*, *45*(4), 1006-1015. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.10.008

Tunjuelito, A. L. d. (2010). *Diagnóstico Local con Participación Social 2009 - 2010*. Bogotá D.C.

Ulli-Beer, S., Andersen, D. F., & Richardson, G. P. (2007). Financing a competitive recycling initiative in Switzerland [Article]. *Ecological Economics*, *62*(3-4), 727-739. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.09.017

Valenzuela-Venegas, G., Salgado, J. C., & Díaz-Alvarado, F. A. (2016). Sustainability indicators for the assessment of eco-industrial parks: classification and criteria for selection. *Journal of Cleaner Production*, *133*, 99-116. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.113

Valenzuela-Venegas, G., Vera-Hofmann, G., & Díaz-Alvarado, F. A. (2020). Design of sustainable and resilient eco-industrial parks: Planning the flows integration network through multi-objective optimization. *Journal of Cleaner Production*, *243*, 118610. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118610

Vatalis, K. I. (2010). Evaluation of sustainability by a population living near fossil fuel resources in Northwestern Greece. *Journal of Environmental Management*, *91*(12), 2581-2589. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.07.007

Vásquez Daza, L. (2012). *LAS CURTIEMBRES EN EL BARRIO SAN BENITO DE BOGOTÁ. Un análisis bioético en la perspectiva de Hans Jonas* Pontificia Universidad Javeriana]. Bogotá D.C.

Wei, S., Yang, H., Song, J., Abbaspour, K. C., & Xu, Z. (2012). System dynamics simulation model for assessing socio-economic impacts of different levels of environmental flow allocation in the Weihe River Basin, China. *European Journal of Operational Research*, *221*(1), 248-262. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.03.014

Xu, F., Xiang, N., Tian, J., & Chen, L. (2017). 3Es-based optimization simulation approach to support the development of an eco-industrial park with planning towards sustainability: A case study in Wuhu, China. *Journal of Cleaner Production*, *164*, 476-484. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.192

Xu, Z., & Coors, V. (2012). Combining system dynamics model, GIS and 3D visualization in sustainability assessment of urban residential development [Article]. *Building and Environment*, *47*(1), 272-287. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.012

Yao, L., Liu, T., Chen, X., Mahdi, M., & Ni, J. (2018). An integrated method of life-cycle assessment and system dynamics for waste mobile phone management and recycling in China [Article]. *Journal of Cleaner Production*, *187*, 852-862. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.195

Yuan, H., Chini, A. R., Lu, Y., & Shen, L. (2012). A dynamic model for assessing the effects of management strategies on the reduction of construction and demolition waste. *Waste Management*, *32*(3), 521-531. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.11.006

Yuan, H., & Wang, J. (2014). A system dynamics model for determining the waste disposal charging fee in construction [Article]. *European Journal of Operational Research*, *237*(3), 988-996. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.02.034

Zafra-Mejía, C., Rondón-Quintana, H., & Beltrán-Vargas, J. (2017). Acumulación de metales pesados en sedimentos viales urbanos: factores de interés en salud pública. *Revista de la Facultad de Medicina*, *65*(4), 655-664.

Zarghami, M., & Akbariyeh, S. (2012). System dynamics modeling for complex urban water systems: Application to the city of Tabriz, Iran [Article]. *Resources, Conservation and Recycling*, *60*, 99-106. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.11.008

Zeng, D. Z., Cheng, L., Shi, L., & Luetkenhorst, W. (2021). China's green transformation through eco-industrial parks. *World Development*, *140*, 105249. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105249

Zhang, D., Keat, T. S., & Gersberg, R. M. (2010). A comparison of municipal solid waste management in Berlin and Singapore. *Waste Management*, *30*(5), 921-933. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.017

Zhang, H., Calvo-Amodio, J., & Haapala, K. R. (2013). A conceptual model for assisting sustainable manufacturing through system dynamics. *Journal of Manufacturing Systems*, *32*(4), 543-549. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.05.007

Zhang, Z., Lu, W. X., Zhao, Y., & Song, W. B. (2014). Development tendency analysis and evaluation of the water ecological carrying capacity in the Siping area of Jilin Province in China based on system dynamics and analytic hierarchy process. *Ecological Modelling*, *275*, 9-21. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.11.031

Zhao, W., Ren, H., & Rotter, V. S. (2011). A system dynamics model for evaluating the alternative of type in construction and demolition waste recycling center - The case of Chongqing, China [Article]. *Resources, Conservation and Recycling*, *55*(11), 933-944. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.04.011

Zheng, W., Shen, G. Q., Wang, H., Hong, J., & Li, Z. (2017). Decision support for sustainable urban renewal: A multi-scale model. *Land Use Policy*, *69*, 361-371. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.09.019

9. ANEXO 1. Metodología de las revisiones bibliográficas

En este apartado se detallan los resultados de cada paso de la metodología utilizada para las revisiones bibliográficas, así como tablas correspondientes a listados de variables.

9.1. Revisión bibliográfica gestión de residuos

Se efectuó la búsqueda de artículos relacionados con la gestión de residuos y, dentro de la misma, el tratamiento de vertimientos; publicados en el período comprendido entre los años 2008 y 2018, en las bases de datos Science Direct, SpringerLink, Google Scholar y Scopus. Sin embargo, se evidencia que Scopus es un motor de búsqueda con mayor filtro en la citación; por tanto, allí se encuentran documentos publicados en las tres bases anteriormente relacionadas.

Así pues, según la propuesta de (Zafra-Mejía et al., 2017), se desarrollaron tres fases de revisión; en donde la primera fase se realizó para detectar artículos científicos asociados con las palabras clave en inglés “waste management” y “system dynamics” y para Google Scholar, adicionalmente en español “gestión de residuos” y “dinámica de sistemas”; lo cual arrojó como resultado para Google Scholar 6.149 artículos en inglés y 176 artículos en español, para un total de 6.325 artículos con un 89.8% de participación, seguido de Science Direct con 345 artículos y 4,9% de participación, SpringerLink con 194 artículos y 4,0% de participación y finalmente Scopus con 93 artículos y 1,3% de participación; para un total de 7.045 artículos científicos de investigación. La figura 42 muestra los documentos publicados por año, por los cuatro motores de búsqueda.

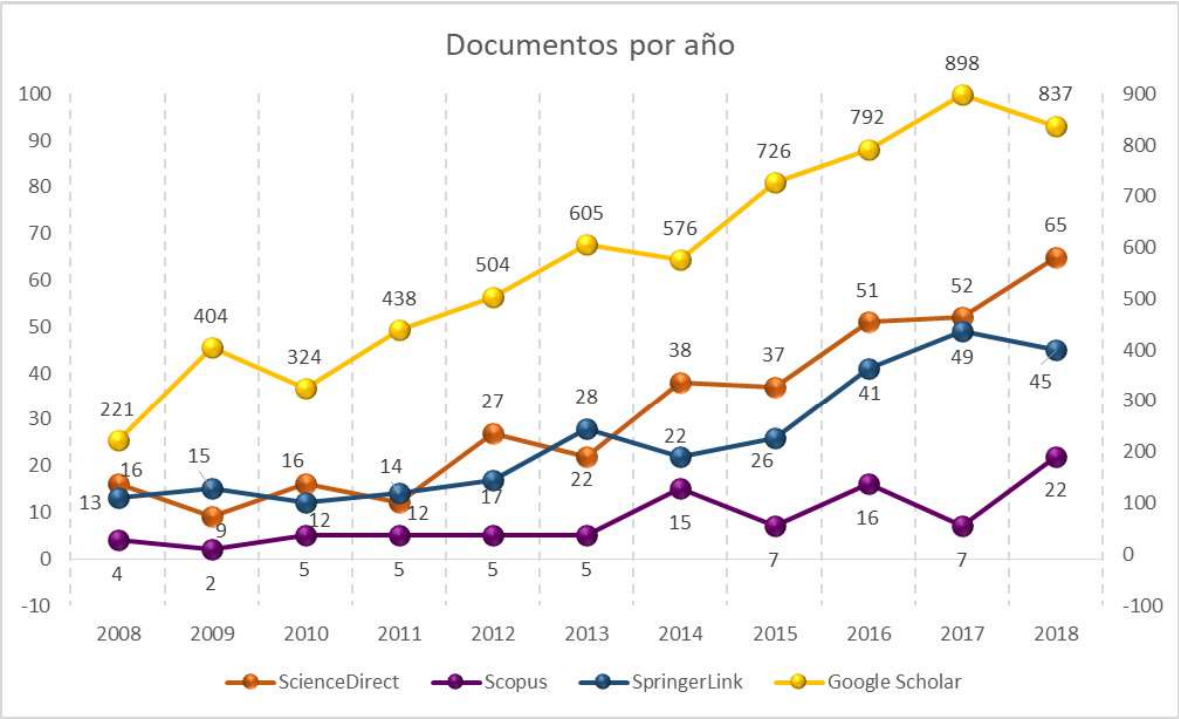


Figura 42. Documentos por año publicados entre 2008 y 2018. Fuente: ScienceDirect, Scopus, SpringerLink y Google Scholar. Elaboración propia.

Para la segunda fase, se efectuó una revisión bibliográfica en donde se incluyeron las nueve palabras clave con mayor citación a partir de los filtros reportados por Scopus, tales como “recycling”, “waste disposal”, “solid waste management”, “landfill”, “sustainable development”, “waste treatment”, “demolition” y “electronic waste”. Adicionalmente, se incluyó la palabra “system dynamics model”, ya que en esta fase se tuvieron en cuenta cuatro criterios de exclusión: 1) documentos que hacen alusión a un modelo dinámico o a simulación pero que no lo desarrollan dentro del artículo, 2) documentos de análisis cualitativo, 3) documentos que si bien desarrollan un modelo dinámico, no tienen en cuenta la gestión de residuos dentro del mismo y 4) documentos que desarrollan remoción química u orgánica de algún tipo de contaminante en específico. Lo anterior arrojó como resultado que para Google Scholar permanecieran 1.280 documentos, 135 para Science Direct, 45 para SpringerLink y 36 para Scopus.

Por último, se escogió un total de 43 documentos, luego de analizar los resúmenes y verificar que el modelo dinámico se encontrara bajo las condiciones descritas anteriormente. Vale la pena indicar, que Google Scholar no fue utilizado en esta

última fase, debido a que aun cuando se efectuaron los filtros de adición de palabras clave, este motor de búsqueda filtra criterios de exclusión, lo cual dificulta la correcta selección de artículos.

9.2. Revisión bibliográfica sustentabilidad industrial

Posteriormente, se efectuó la búsqueda de artículos relacionados específicamente con modelos dinámicos que evalúen la sustentabilidad en procesos industriales; publicados en el período comprendido entre los años 2008 y 2020, en las bases de datos Science Direct, SpringerLink y Google Scholar.

Así pues, según la propuesta de (Zafra-Mejía et al., 2017), se desarrollaron tres fases de revisión; en donde la primera fase se realizó para detectar artículos científicos asociados con las palabras clave en inglés “system dynamics”, “sustainability” e “industrial processes” y para Google Scholar, adicionalmente en español “dinámica de sistemas”, “sustentabilidad” y “procesos industriales”; lo cual arrojó como resultado para Google Scholar 1.857 artículos en inglés y 81 artículos en español, para un total de 1.938 artículos con un 87.1% de participación, seguido de Science Direct con 258 artículos y 11,6% de participación y SpringerLink con 29 artículos (28 en inglés y 1 en alemán) y 1,3% de participación; para un total de 2.225 artículos científicos de investigación. La figura 43 muestra los documentos publicados por año, por los tres motores de búsqueda.

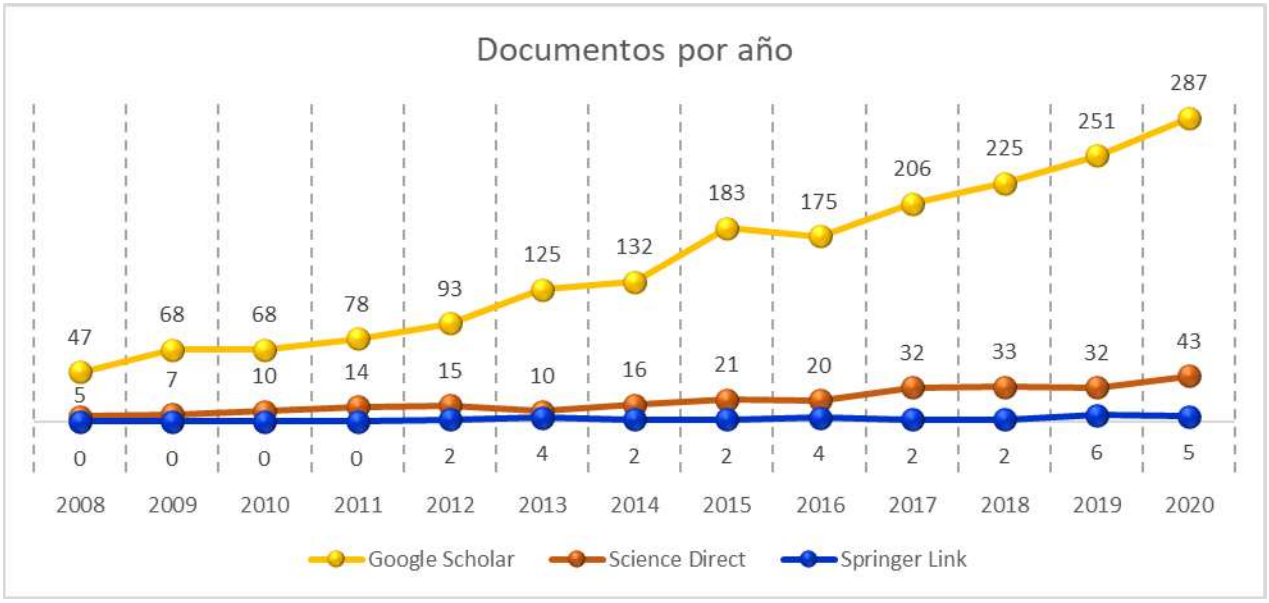


Figura 43. Documentos por año publicados entre 2008 y 2020. Fuente: ScienceDirect, SpringerLink y Google Scholar. Elaboración propia.

Para la segunda fase, se efectuó una revisión bibliográfica en donde se incluyeron las palabras “system dynamics model” y “sustainability assessment”, ya que en esta fase se tuvieron en cuenta cuatro criterios de exclusión: 1) documentos que hacen alusión a un modelo dinámico o a simulación pero que no lo desarrollan dentro del artículo, 2) documentos de análisis cualitativo, 3) documentos que si bien desarrollan un modelo dinámico, asumen procesos industriales como sustentables (por ejemplo: energía renovable sustentable), pero no evalúan sustentabilidad dentro del mismo y 4) documentos que mencionan indicadores de sustentabilidad bajo otras herramientas diferentes a la dinámica de sistemas. Lo anterior arrojó como resultado Google Scholar no arrojara resultados en español sino únicamente en inglés con 61 documentos, 8 para Science Direct y 1 para SpringerLink.

Por último, se escogió un total de 3 documentos, luego de analizar los resúmenes y verificar que el modelo dinámico se encontrara bajo las condiciones descritas anteriormente. Lo anterior, debido a que se evidenció que aun cuando los documentos fueron filtrados por los motores de búsqueda, la mayoría de ellos únicamente corresponde a evaluaciones técnicas, productivas o ambientales, sin llegar a evaluar sustentabilidad en procesos industriales.

De los 3 artículos revisados, a continuación, en las tablas 36, 37 y 38 se relacionan los criterios y variables que contemplan para los modelos:

Tabla 36. Criterios escogidos por el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP). Fuente:(Halog, 2011).

Artículo año 2011: Criterios Proceso Jerarquía Analítica – AHP		
No.	**Nombre del Criterio**	**Tipo de Criterio**
1	Balance de gases de efecto invernadero (GGB)	Ambiental
2	Balance de energía (EB)	Ambiental
3	Protección del suelo (SP)	Ambiental
4	Participación (P)	Social
5	Gestión del agua (WM)	Ambiental
6	Eficiencia de los recursos naturales (NRE)	Ambiental
7	Sustentabilidad microeconómica (MS)	Económico
8	Conformidad con las leyes (CWL)	Social
9	Protección de ecosistemas (EP)	Ambiental
10	Seguimiento del desempeño de los criterios (MCP)	Social
11	Seguridad alimentaria (FS)	Social
12	Gestión de residuos (WTM)	Ambiental

Tabla 37. Variables para la evaluación de sustentabilidad para la toma de decisiones gubernamentales en biodiesel en Colombia. Fuente:(Espinoza et al., 2017).

Artículo año 2017: Evaluación de sustentabilidad para la toma de decisiones gubernamentales en biodiesel en Colombia		
No.	**Variable**	**Unidad de Medida**
1	Precio Diesel ACPM	USD/Ton
2	Capacidad de producción de Biodiesel	Ton día calendario
3	Diferencia entre la demanda y la producción de Biodiesel	Ton día calendario
4	Producción acumulada de Biodiesel	Ton día calendario acumulada por Trimestre
5	Costos de producción de Biodiesel	USD/Ton
6	Costo de materias primas	USD/Ton
7	Precio del aceite de palma	USD/Ton
8	Producción de aceite de palma ajustada estacionalmente	USD/Ton
9	Capacidad de producción de aceite de palma en el país	Ton día calendario
10	Ventas de aceite de palma para Biodiesel	Ton día calendario
11	Precio de Biodiesel	USD/Ton
12	Tiempo	Trimestre
13	Hectáreas de palma en fase de desarrollo	Hectáreas
14	Precio internacional de aceite WTI	USD/Ton
15	Hectáreas agrícolas	Hectáreas
16	Producción de Biodiesel	Ton día calendario
17	Cambio en la capacidad de producción de Biodiesel	Ton día calendario acumulada por Trimestre
18	Curva de aprendizaje en función de producción de Biodiesel	USD/Ton
19	Curva de desarrollo de tecnología independiente	USD/Ton
20	Índice estacional	Adimensional
21	Producción de aceite de palma	Ton día calendario
22	Ventas de aceite de palma	Ton día calendario
23	Variación de las hectáreas de palma en fase de desarrollo a estado de producción	Hectáreas/Trimestre

Artículo año 2017: Evaluación de sustentabilidad para la toma de decisiones gubernamentales en biodiesel en Colombia		
No.	**Variable**	**Unidad de Medida**
24	Nivel de stock de biodiesel	Ton
25	Ventas de Biodiesel	Ton día calendario
26	Producción de glycerol	Ton día calendario
27	Demanda de Biodiesel	Ton día calendario
28	Mezcla de tarifas obligatorias	%
29	Consumo de Diesel en Colombia	Ton día calendario
30	Diferencia acumulada entre la demanda y la producción de Biodiesel	Ton día calendario
31	Precio de glycerol	USD/Ton
32	Exportaciones de glycerol	Miles USD/Trimestre
33	Variable auxiliar de glycerol	(Trimestre*USD)/(Día calendario*Miles USD)
34	Comparación entre la producción y la exportación de glycerol	USD día calendario
35	Variable auxiliar de la producción acumulada de Biodiesel	Ton día calendario/Trimestre
36	Beneficios Biodiesel	USD/Ton
37	Stock de aceite de palma	Ton
38	Rendimiento de hectáreas de palma	%
39	Hectáreas de palma en fase de producción	Hectáreas
40	Hectáreas de palma en fase de desarrollo	Hectáreas
41	Desarrollo anormal y muerte en producción de palma	Hectáreas/Trimestre
42	Número total de hectáreas de palma	Hectáreas
43	Variación de hectáreas de palma en fase de producción	Hectáreas/Trimestre
44	Variación total de hectáreas de semillas de palma	Hectáreas/Trimestre
45	Hectáreas marginales arables	Hectáreas
46	Hectáreas tropicales	Hectáreas
47	Hectáreas de cultivo	Hectáreas
48	Variación en las hectáreas marginales arables	Hectáreas/Trimestre
49	Variación en las hectáreas tropicales	Hectáreas/Trimestre
50	Variación en las hectáreas de cultivo	Hectáreas/Trimestre
51	Variable auxiliar 1 de hectáreas tropicales	Hectáreas/Trimestre
52	Variable auxiliar 2 de hectáreas tropicales	Hectáreas/Trimestre
53	Variable auxiliar 1 de WTI	USD/(Ton Trimestre)
54	Variable auxiliar 2 de WTI	USD/(Ton Trimestre)

Tabla 38. Variables diagrama causal evaluación de sustentabilidad de ecosistemas industriales.

Fuente: (Mota-López et al., 2018).

Artículo año 2018: Variables Causal		
Autores	**Variables**	**Descripción**
(Al-Sharrah et al., 2010; Musango et al., 2012)	Demanda	Cantidad de bienes y servicios requeridos por los consumidores
	Ratio de producción de la compañía	Cantidad de productos a producir.
(Liu et al., 2015; Madani & Mariño, 2009; Mavrommati et al., 2013; Sušnik et al.,	Demanda de agua de la compañía	Volumen de agua requerido por los procesos industriales.
	Consumo de agua	Volumen de agua consumida en la región.
	Escasez	Impacto ambiental producido cuando el consumo de agua excede el suministro disponible.

Artículo año 2018: Variables Causal		
Autores	**Variables**	**Descripción**
2012; Zarghami & Akbariyeh, 2012; Zhang et al., 2014)	Suministro de agua	Volumen total de agua proporcionado por fuentes de agua superficiales y subterráneas.
	Agua superficial	Volumen de agua extraído de fuentes superficiales.
	Agua subterránea	Volumen de agua extraída de las fuentes de agua subterránea.
	Emisiones de la compañía al agua	Volumen de aguas residuales producidas por la empresa.
	Carga contaminante	Grado de contaminación de las aguas residuales.
	Calidad del agua	Medida de las propiedades físicas y químicas del agua que indica el impacto ambiental causado al recurso.
	Requerimientos de la calidad del agua de la compañía	Parámetro que define el nivel de calidad del agua requerido para los procesos de la empresa.
	Satisfacción de calidad	Medida que indica si la calidad del agua del ecosistema cumple con los requisitos de calidad del agua de la industria.
	Agua con los requisitos de calidad	Volumen de agua que cumple con los requisitos de calidad.
	Tratamiento de aguas	Volumen de agua tratada para remover contaminantes.
	Disponibilidad de agua para la empresa	Volumen de agua disponible para los procesos de la compañía.
(Ansari & Seifi, 2012; Aslani et al., 2014)	Consumo de energía	Cantidad de energía usada para los procesos de la compañía.
	Suministro de energía	Cantidad de energía suministrada a la industria
	Seguridad energética	Medida que indica si el suministro de energía de la compañía es fidedigna o no.
(Ansari & Seifi, 2013; Feng et al., 2013; Lee et al., 2012)	Uso de energía de combustibles fósiles	Cantidad de energía de combustibles fósiles.
	Emisiones al aire relacionados con el uso de energía de combustibles fósiles	Emisiones de contaminantes atmosféricos producidos por el uso de combustibles fósiles.
	Emisiones de la compañía al aire	Sustancias contaminantes liberadas a la atmósfera por la compañía .
	Calidad del aire	Medida de la cantidad de contaminantes en la atmósfera que indica el impacto ambiental producido al aire.
	Presión para reducir las emisiones	Acciones tomadas para promover la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera.
	Adopción de alternativas amigables con el medio ambiente	Alternativas que conducen a la reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos.
(Liu et al., 2015; Mavrommati et al., 2013)	Demanda de agua de las industrias del ecosistema	Volumen de agua requerida por las industrias y la población en el ecosistema.
	Demanda de agua de la población del ecosistema	
	Emisiones al agua de las industrias del ecosistema	Volumen de aguas residuales producido por las industrias y la población en el ecosistema
	Emisiones al agua de la población del ecosistema	
	Consumo de energía de las industrias del ecosistema	Cantidad de energía requerida por las industrias y la población en el ecosistema.
	Consumo de energía de la población del ecosistema	
	Emisiones atmosféricas de las industrias del ecosistema	Volumen de contaminantes atmosféricos producidos
	Emisiones atmosféricas de la población del ecosistema	

Las variables de la tabla 38, se pueden apreciar en el diagrama causal de la figura 44 realizado por (Mota-López et al., 2018):

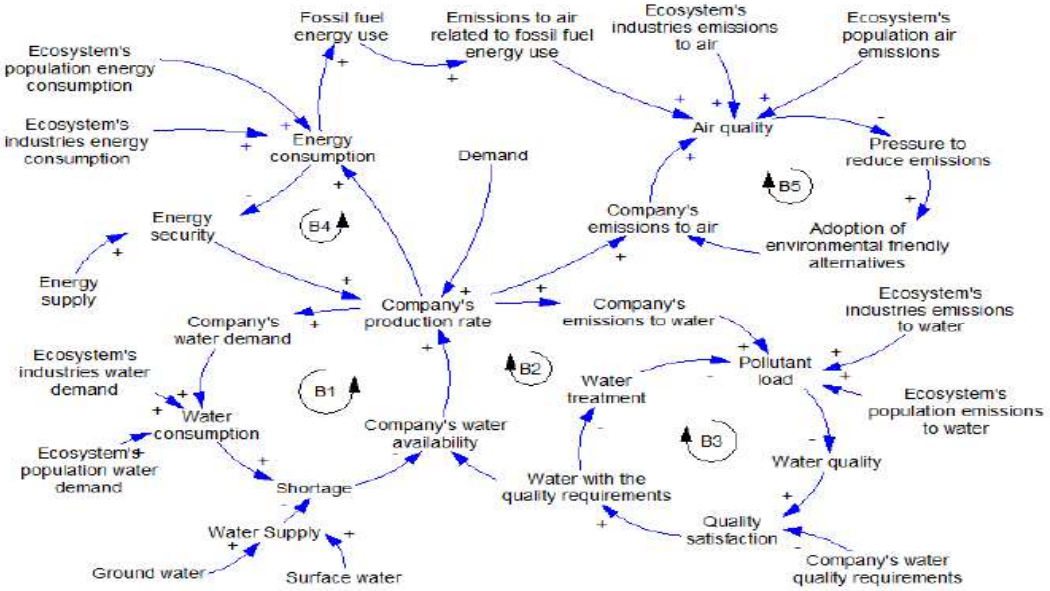


Figura 44. Diagrama causal para la evaluación de sustentabilidad de ecosistemas industriales. Fuente:(Mota-López et al., 2018).

9.3. Revisión bibliográfica percepción social en la sustentabilidad de los procesos industriales

Se efectuó la búsqueda de artículos relacionados específicamente con los aspectos o variables para evaluar la precepción social en la sustentabilidad de los procesos industriales; publicados en el período comprendido entre los años 2008 y 2020, en las bases de datos Scopus, Science Direct, SpringerLink y Google Scholar.

Así pues, según la propuesta de (Zafra-Mejía et al., 2017), se desarrollaron tres fases de revisión; en donde la primera fase se realizó para detectar artículos científicos asociados con las palabras clave en inglés “social perception”, “sustainability” e “industry”, debido a que con la palabra clave “industrial processes” Scopus no arrojó resultados, y para Google Scholar, adicionalmente en español “percepción social”, “sustentabilidad” e “industria”; lo cual arrojó como resultado para Google Scholar 7.115 artículos en inglés y 1.427 artículos en español, para un total de 8.542 artículos con un 93.9% de participación, seguido de Science Direct con 416 artículos y 4,6% de participación, SpringerLink con 132 artículos y 1,5% de participación y Scopus con 4 artículos con un 0,04% de participación; para un total

de 9.094 artículos científicos de investigación. La figura 45 muestra los documentos publicados por año, por los cuatro motores de búsqueda.

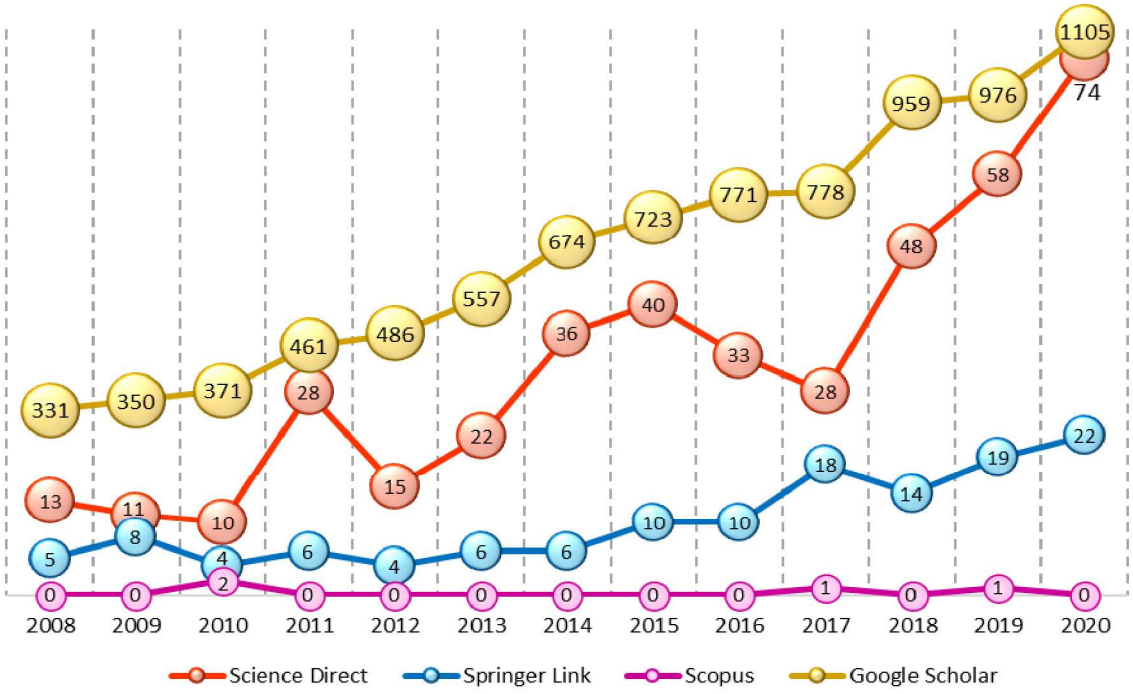


Figura 45. Documentos por año publicados entre 2008 y 2020. Fuente: ScienceDirect, SpringerLink, Scopus y Google Scholar. Elaboración propia.

Para la segunda fase, se efectuó una revisión bibliográfica en donde se incluyeron las cinco palabras clave con mayor citación a partir de los filtros reportados por Scopus, tales como “environmental impact”, “questionnary survey”, “stakeholder”, “sustainable development”, y “Building Information Model - BIM”. Adicionalmente, se incluyeron las palabras “survey” (debido a que con la palabra clave questionnary survey arrojada por Scopus, los otros tres motores de búsqueda no arrojaron resultados) y “quantitative”, ya que en esta fase se tuvieron en cuenta cinco criterios de exclusión: 1) documentos en donde hacen referencia a la percepción social pero que no la estudian dentro del artículo 2) documentos en los que mencionan la realización de una entrevista, pero teniendo en cuenta que el estudio es de orden cualitativo, no muestran los resultados de las encuestas por pregunta sino en forma general y no es posible evidenciar las preguntas realizadas a los stakeholders 3) documentos enfocados en percepción social de cambios medioambientales en general sin dirigirse a una industria o proceso industrial específico 4) documentos

enfocados en percepción social del atractivo turístico o de los servicios ecosistémicos del lugar de residencia 5) documentos con otras metodologías en donde no se implementaron encuestas semi-estructuradas.

Lo anterior arrojó como resultado que para Google Scholar permanecieran 2.030 documentos en inglés y 267 documentos en español, para un total de 2.297, 132 para Science Direct, 51 para SpringerLink y 1 para Scopus.

Por último, se escogió un total de 10 documentos, luego de analizar los resúmenes y verificar que el estudio de percepción social se encontrara bajo las condiciones descritas anteriormente.

Así las cosas, en la tabla 39 se relacionan los 10 documentos que cumplen con los criterios de exclusión descritos anteriormente:

Tabla 39. Artículos seleccionados percepción social. Fuente: Elaboración propia.

No.	Año	Autores	Título artículo (traducido)
1	2008	(Labuschagne & Brent, 2008)	Una perspectiva de la industria de la integridad y relevancia de un marco de evaluación social para la gestión de proyectos y tecnología en el sector manufacturero
2	2010	(Vatalis, 2010)	Evaluación de la sostenibilidad por una población que vive cerca de recursos de combustibles fósiles en el noroeste de Grecia
3	2016	(Cossío Campeán et al.)	Propuestas de Mejora de la Responsabilidad Social Empresarial en la Cadena Alimentaria de las Grandes Empresas Peruanas
4	2017	(Matlaba et al., 2017)	Percepción social al inicio de un desarrollo minero en la Amazonia Oriental, Brasil
5	2018	(Choumert-Nkolo, 2018)	Desarrollo de un sector de gas natural socialmente inclusivo y sostenible en Tanzania
6	2018	(Sajid & Lynch, 2018)	Estrategias de modelado financiero para la evaluación del ciclo de vida social: evaluación de un proyecto de producción y sostenibilidad de biodiesel en Terranova y Labrador, Canadá
7	2018	(Andrade & Caamaño-Franco, 2018)	Modelo teórico y metodológico para el estudio de la percepción social del impacto del turismo industrial en el desarrollo local
8	2019	(Sánchez-Arias et al., 2019)	Evaluación socioambiental de un relleno sanitario con un diseño de estudio mixto: un caso de estudio México
9	2019	(Ercilla-Montserrat et al., 2019)	Análisis de la percepción del consumidor de los productos alimenticios urbanos a partir de un sistema sin suelo en invernaderos en azoteas: un estudio de caso del área mediterránea de Barcelona (España)
10	2020	(Alrashoud & Tokimatsu, 2020)	Factores que influyen en la percepción social de los sistemas solares fotovoltaicos residenciales en Arabia Saudita

Así mismo, se evidencia que en algunas de las encuestas se realizaron varias preguntas que apuntan hacia el mismo aspecto; por consiguiente, luego de analizar las 111 preguntas efectuadas en los 10 artículos escogidos, éstas se pudieron categorizar en 22 variables, como es posible visualizar en la tabla 40:

Tabla 40. Variables generadas de las preguntas de las encuestas. Fuente: Elaboración propia.

No.	Variable	Frecuencia de preguntas
1	Generación de empleo y bienestar económico local	10
2	Desarrollo socio-económico	9
3	Impacto ambiental	9
4	Satisfacción del consumidor	8
5	Mejora de infraestructura y servicios públicos	8
6	Cohesión social	6
7	Legalidad empresarial	6
8	Seguridad y salud ocupacional	6
9	Equidad y diversidad	6
10	Interés en sustentabilidad por parte de las empresas	6
11	Patrimonio histórico y cultural	6
12	Patologías sociales	5
13	Salud	5
14	Sentido de pertenencia	5
15	Responsable del problema	4
16	Capacitación / Educación	3
17	Interés en sustentabilidad por parte de la comunidad	3
18	Investigación y desarrollo	1
19	Confianza en autoridades	1
20	Crecimiento de la población	1
21	Familiarización con nuevo proyecto	1
22	Suministro de información	1
23	Apoyo al nuevo proyecto	1
	Total	**111**

Sin embargo, teniendo en cuenta que la revisión bibliográfica es realizada de acuerdo con la frecuencia por artículos, en la tabla 41 se detalla la frecuencia de las anteriores variables en los artículos seleccionados:

Tabla 41. Frecuencia en documentos de las variables. Fuente: Elaboración propia.

No.	Variable	Cantidad de artículos
1	Impacto ambiental	6
2	Desarrollo socio-económico	6
3	Generación de empleo y bienestar económico local	5
4	Cohesión social	3
5	Patologías sociales	3
6	Equidad y diversidad	3
7	Mejora de infraestructura y servicios públicos	3
8	Seguridad y salud ocupacional	2
9	Legalidad empresarial	2
10	Interés en sustentabilidad por parte de las empresas	2
11	Capacitación / Educación	2
12	Salud	2
13	Sentido de pertenencia	2
14	Patrimonio histórico y cultural	2
15	Responsable del problema	2

No.	Variable	Cantidad de artículos
16	Apoyo al nuevo proyecto	1
17	Interés en sustentabilidad por parte de la comunidad	1
18	Crecimiento de la población	1
19	Confianza en autoridades	1
20	Suministro de información	1
21	Investigación y desarrollo	1
22	Familiarización con nuevo proyecto	1

9.4. Autores de referencia para cada variable seleccionada

En la tabla 42 se evidencian los autores que referenciaron cada una de las vientisiete (27) variables seleccionadas para ser incluidas dentro del modelo dinámico:

Tabla 42. Autores por variables seleccionadas. Elaboración propia.

No.	Variable	Autores revisión	Capital Sustentab. Asociado
1	PIB	**Gestión de Residuos:** 1. (Dirk Inghels & Wout Dullaert, 2011) 2. (Zhao et al., 2011) 3. (Long et al., 2012) 4. (Chen et al., 2012) 5. (Dace et al., 2014) 6. (Pubule et al., 2015) 7. (Blumberga et al., 2015) 8. (Giannis et al., 2017) 9. (Dasgupta et al., 2017) 10. (Inghels et al., 2016) 11. (Lee et al., 2018) 12. (Charles Estay-Ossandon & Angel Mena-Nieto, 2018) 13. (Estay-Ossandon et al., 2018) 14. (Di Nola et al., 2018) 15. (Alamerew & Brissaud, 2018)	KM
2	Demanda **Adaptación:** Demanda de cuero	**Gestión de Residuos:** 1. (Georgiadis & Besiou, 2010) 2. (D. Inghels & W. Dullaert, 2011) 3. (Georgiadis, 2013) 4. (Dace et al., 2014) 5. (Golroudbary & Zahraee, 2015) 6. (V. Ghisolfi et al., 2017) **Sustentabilidad Industrial:** 1. (Al-Sharrah et al., 2010) 2. (Musango et al., 2012) 3. (Espinoza et al., 2017) 4. (Mota-López et al., 2018)	KM
3	Producción de la industria	**Gestión de Residuos:** 1. (Georgiadis & Besiou, 2010) 2. (Musango et al., 2011) 3. (Georgiadis, 2013) 4. (Golroudbary & Zahraee, 2015) 5. (Pubule et al., 2015)	KM

No.	Variable	Autores revisión	Capital Sustentab. Asociado
		6. (V. Ghisolfi et al., 2017) **Sustentabilidad Industrial:** 1. (Al-Sharrah et al., 2010) 2. (Musango et al., 2012) 3. (Espinoza et al., 2017) 4. (Mota-López et al., 2018)	
4	Ventas/Ingresos	**Gestión de Residuos:** 1. (Georgiadis & Besiou, 2010) 2. (Georgiadis, 2013) 3. (Golroudbary & Zahraee, 2015) 4. (V. Ghisolfi et al., 2017) **Sustentabilidad Industrial:** 1. (Espinoza et al., 2017) 2. (Halog, 2011)	KM
5	Demanda de agua de la industria	**Sustentabilidad Industrial:** 1. (Madani & Mariño, 2009) 2. (Sušnik et al., 2012) 3. (Zarghami & Akbariyeh, 2012) 4. (Mavrommati et al., 2013) 5. (Zhang et al., 2014) 6. (Liu et al., 2015) 7. (Mota-López et al., 2018)	KN
6	Cantidad de residuos generados **Adaptación:** Cantidad de vertimientos generados	**Gestión de Residuos:** 1. (Chen et al., 2012) 2. (Cai & Liu, 2013) 3. (Dace et al., 2014) 4. (Yuan & Wang, 2014) 5. (Al-Khatib et al., 2015) 6. (Giannis et al., 2017) 7. (Sukholthaman & Sharp, 2016) 8. (Ding et al., 2016) 9. (Lee et al., 2018) 10. (Charles Estay-Ossandon & Angel Mena-Nieto, 2018) 11. (Di Nola et al., 2018)	KN
7	Carga contaminante	**Sustentabilidad Industrial:** 1. (Madani & Mariño, 2009) 2. (Sušnik et al., 2012) 3. (Zarghami & Akbariyeh, 2012) 4. (Mavrommati et al., 2013) 5. (Zhang et al., 2014) 6. (Liu et al., 2015) 7. (Mota-López et al., 2018)	KN
8	Calidad del agua	**Sustentabilidad Industrial:** 1. (Madani & Mariño, 2009) 2. (Sušnik et al., 2012) 3. (Zarghami & Akbariyeh, 2012) 4. (Mavrommati et al., 2013) 5. (Zhang et al., 2014) 6. (Liu et al., 2015) 7. (Mota-López et al., 2018)	KN
9	Agua con los requisitos de calidad	**Sustentabilidad Industrial:** 1. (Madani & Mariño, 2009) 2. (Sušnik et al., 2012) 3. (Zarghami & Akbariyeh, 2012) 4. (Mavrommati et al., 2013) 5. (Zhang et al., 2014)	KN

No.	Variable	Autores revisión	Capital Sustentab. Asociado
		6. (Liu et al., 2015) 7. (Mota-López et al., 2018)	
10	Tratamiento de aguas	**Sustentabilidad Industrial:** 1. (Madani & Mariño, 2009) 2. (Sušnik et al., 2012) 3. (Zarghami & Akbariyeh, 2012) 4. (Mavrommati et al., 2013) 5. (Zhang et al., 2014) 6. (Liu et al., 2015) 7. (Mota-López et al., 2018)	KN
11	Cantidad de reducción de residuos **Adaptación:** Cantidad reducción carga contaminante en vertimientos	**Gestión de Residuos:** 1. (Yuan et al., 2012) 2. (Yuan & Wang, 2014) 3. (Golroudbary & Zahraee, 2015) 4. (Inghels et al., 2016) 5. (Verônica Ghisolfi et al., 2017) 6. (Ding et al., 2016)	KN
12	Percepción social sobre el impacto ambiental negativo	**Percepción Social:** 1. (Vatalis, 2010) 2. (Cossío Campeán et al., 2016) 3. (Matlaba et al., 2017) 4. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018) 5. (Sánchez-Arias et al., 2019) 6. (Alrashoud & Tokimatsu, 2020)	KN
13	Desarrollo socio-económico	**Percepción Social:** 1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Vatalis, 2010) 3. (Cossío Campeán et al., 2016) 4. (Choumert-Nkolo, 2018) 5. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018) 6. (Alrashoud & Tokimatsu, 2020)	KS
14	Generación de empleo y bienestar económico local	**Percepción Social:** 1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Cossío Campeán et al., 2016) 3. (Matlaba et al., 2017) 4. (Sajid & Lynch, 2018) 5. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018)	KS
15	Presión para reducir las emisiones **Adaptación:** Presión para reducir la contaminación	**Sustentabilidad Industrial:** 1. (Lee et al., 2012) 2. (Ansari & Seifi, 2013) 3. (Feng et al., 2013) 4. (Mota-López et al., 2018)	KS
16	Cohesión social	**Percepción Social:** 1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Cossío Campeán et al., 2016) 3. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018)	KS
17	Patologías sociales	**Percepción Social:** 1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018) 3. (Alrashoud & Tokimatsu, 2020)	KS
18	Equidad y diversidad	**Percepción Social:** 1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Choumert-Nkolo, 2018) 3. (Sajid & Lynch, 2018)	KS
19	Mejora de infraestructura y servicios públicos	**Percepción Social:** 1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Matlaba et al., 2017) 3. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018)	KS
20	Legalidad de las curtiembres	**Percepción Social:**	KS

No.	Variable	Autores revisión	Capital Sustentab. Asociado
		1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Sajid & Lynch, 2018)	
21	Interés en sustentabilidad por parte de las empresas	**Percepción Social:** 1. (Cossío Campeán et al., 2016) 2. (Sajid & Lynch, 2018)	KS
22	Responsable del problema medioambiental	**Percepción Social:** 1. (Vatalis, 2010) 2. (Sánchez-Arias et al., 2019)	KS
23	Seguridad y salud ocupacional	**Percepción Social:** 1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Sajid & Lynch, 2018)	KS
24	Capacitación / Educación	**Percepción Social:** 1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018)	KH
25	Salud	**Percepción Social:** 1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Sajid & Lynch, 2018)	KH
26	Sentido de pertenencia con San Benito	**Percepción Social:** 1. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018) 2. (Sánchez-Arias et al., 2019)	KH
27	Patrimonio histórico y cultural	**Percepción Social:** 1. (Labuschagne & Brent, 2008) 2. (Andrade & Caamaño-Franco, 2018)	KH

10. ANEXO 2. Encuesta semiestructurada de percepción

Encuesta dirigida a los habitantes del barrio San Benito (Bogotá D.C., localidad Tunjuelito), con el fin de conocer su percepción sobre las curtiembres de ese barrio y del Parque Industrial Eco-eficiente. La información aquí consignada únicamente tiene fines académicos.

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales

Información socio-demográfica

1 Edad _____

2 Género Femenino ☐ Masculino ☐ Otra ☐

3 Ocupación Independiente ☐ Empleado(a) ☐ Desempleado(a) ☐
Pensionado(a) ☐ Ama de casa ☐ Estudiante ☐ Otra ☐

4 ¿Trabaja en curtiembres? Sí ☐ No ☐

5 Nivel educativo Ninguna ☐ Primaria ☐ Secundaria ☐
Profesional ☐ Post-Grado ☐

6 Lugar de nacimiento _____

7 ¿Vive en San Benito? Sí ☐ No ☐

8 Si usted vive en San Benito, ¿cuánto tiempo lleva residiendo en el barrio? _____

Usted considera que la industria de curtiembres de San Benito:

		Muy de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
1	Genera un impacto ambiental negativo.					
2	Contribuye al desarrollo socio-económico local, atrayendo inversión en el barrio y generando nuevas oportunidades de negocio					
3	Fomenta la creación de empleo para la población local, generando la principal fuente de ingresos y beneficiando a un gran número de habitantes.					
4	Involucra a la comunidad y a las partes interesadas en las soluciones a los problemas originados por las actividades de la empresa, fomentando la cohesión social.					
5	Incrementa los problemas sociales, disminuyendo la tranquilidad, aumentando el hacinamiento, fomentando el aumento de robos y delincuencia.					
6	Brinda oportunidades de empleo iguales (no discriminación según el género, la raza, color, religión, origen de nacimiento y cultura)					
7	Ha contribuido en mejorar la infraestructura del barrio y la provisión de servicios públicos.					
8	Vincula legalmente a sus trabajadores, es libre de trabajo infantil y las empresas que la conforman se encuentran legalmente constituidas.					
9	Se interesa en conocer el impacto de sus actividades en la vida de la comunidad, tomando acciones correctivas y preventivas a posibles impactos negativos y utilizando productos ecológicos.					
10	Posee prácticas de seguridad y salud en el trabajo, suministrando a sus empleados las herramientas y equipo necesarios.					

Encuesta dirigida a los habitantes del barrio San Benito (Bogotá D.C., localidad Tunjuelito), con el fin de conocer su percepción sobre las curtiembres de ese barrio y del Parque Industrial Eco-eficiente. La información aquí consignada únicamente tiene fines académicos.

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales

		Muy de acuerdo	De acuerdo	Neutral	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
Usted considera que la industria de curtiembres de San Benito:						
11	Contribuye a la educación, al desarrollo de carrera y proporciona a sus trabajadores capacitación con el fin de que tengan altos niveles de calificación.					
12	Le ha generado problemas en su salud, por la cercanía de su vivienda a ésta					
13	Hace que usted se sienta orgulloso(a) de pertenecer a San Benito y mejora la imagen y paisaje del barrio.					
14	Fortalece el patrimonio histórico y cultural de San Benito.					
La responsabilidad de los problemas medioambientales de San Benito se debe a:						
15	La industria de curtiembres					
16	Las autoridades gubernamentales de control					
Sobre la implementación del Parque Industrial Ecoeficiente para las curtiembres en San Benito, usted:						
17	Se encuentra informado(a)					
18	Considera que disminuiría el impacto ambiental negativo de las curtiembres.					
19	Considera que fortalecería el desarrollo socio-económico y generación de empleos local, la cohesión social e inclusión, la legalidad, el interés por la sustentabilidad y a su vez disminuiría los problemas sociales.					
20	Considera que incrementaría la educación y capacitación, su sentido de pertenencia con San Benito, el patrimonio histórico y cultural y a su vez disminuiría la generación de problemas de salud.					

Resultados socio-demográficos

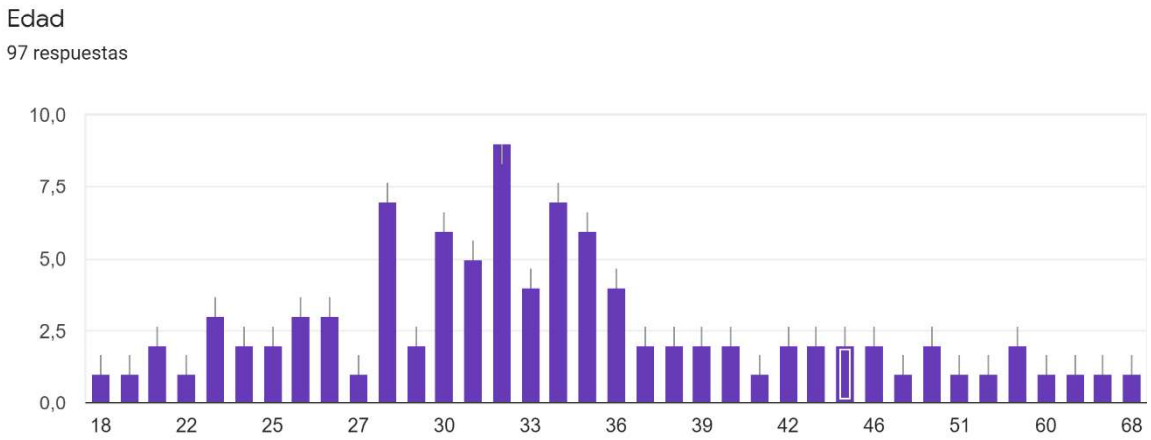


Figura 46. Edad habitantes encuestados San Benito. Fuente: Google Forms.

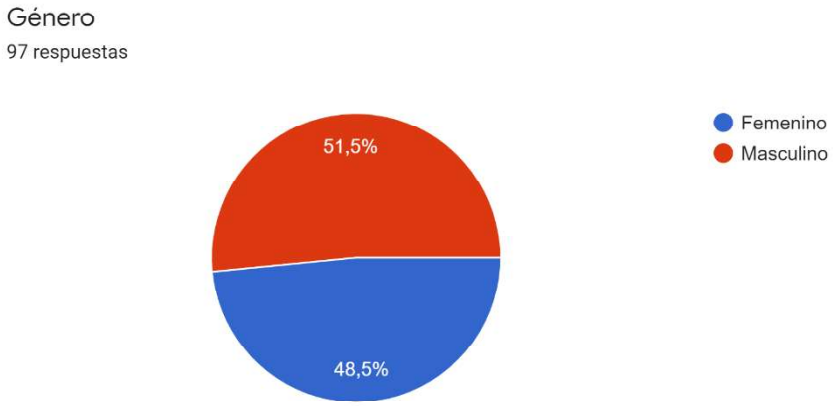


Figura 47. Género habitantes encuestados San Benito. Fuente: Google Forms.

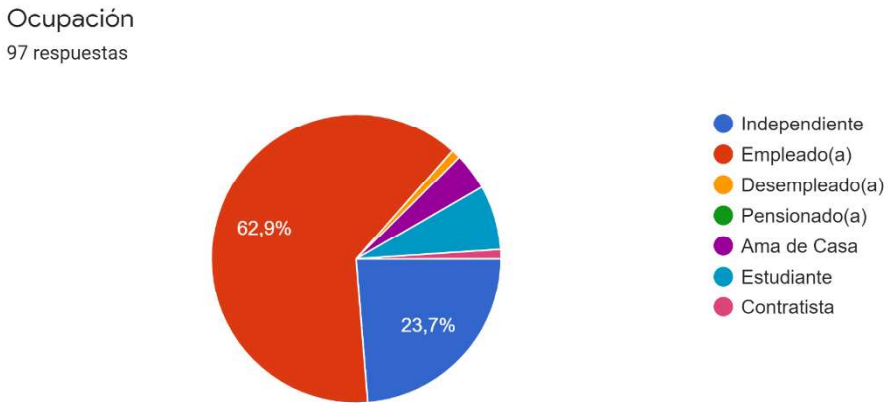


Figura 48. Ocupación habitantes encuestados San Benito. Fuente: Google Forms.

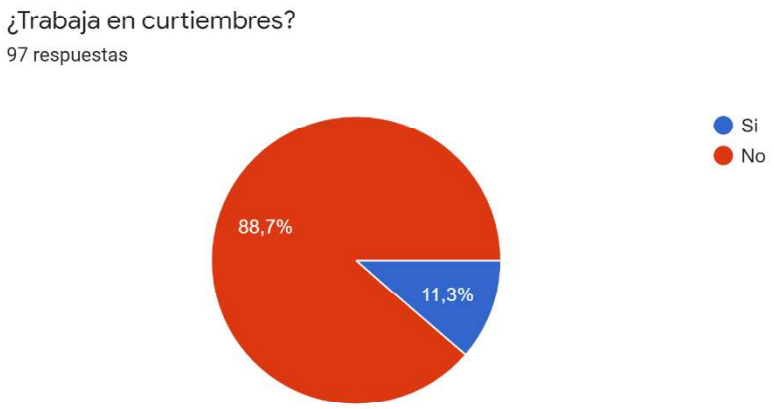


Figura 49. Proporción de habitantes de San Benito que trabajan en curtiembres. Fuente: Google Forms.

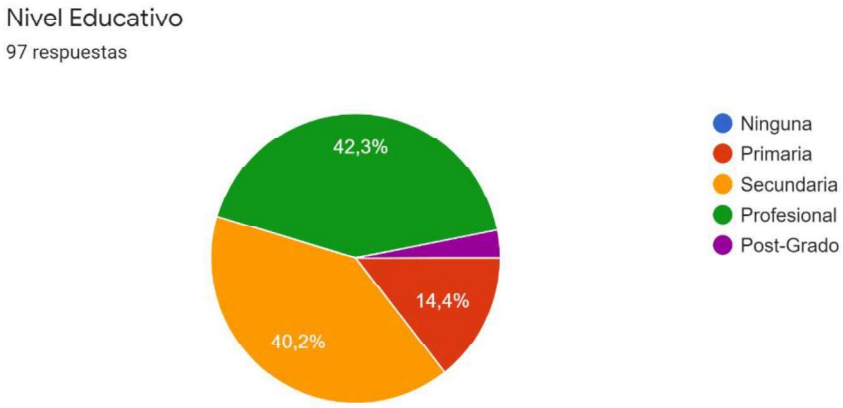


Figura 50. Nivel educativo habitantes encuestados San Benito. Fuente: Google Forms.

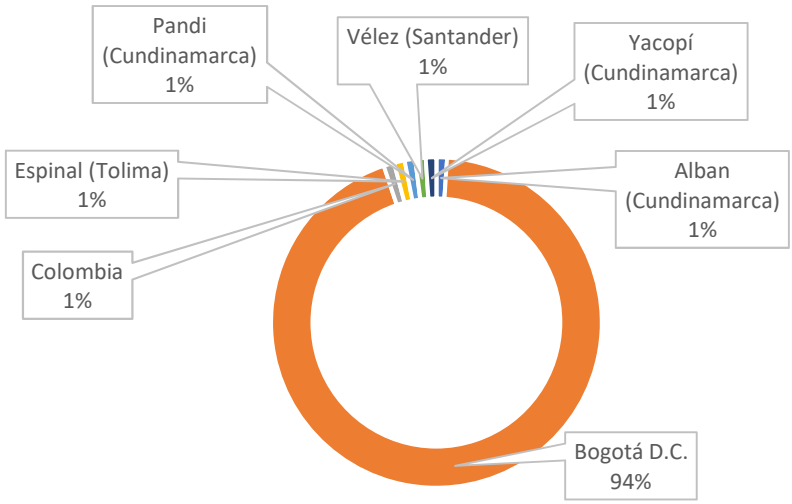


Figura 51. Lugar de Nacimiento de los habitantes encuestados de San Benito. Elaboración propia.

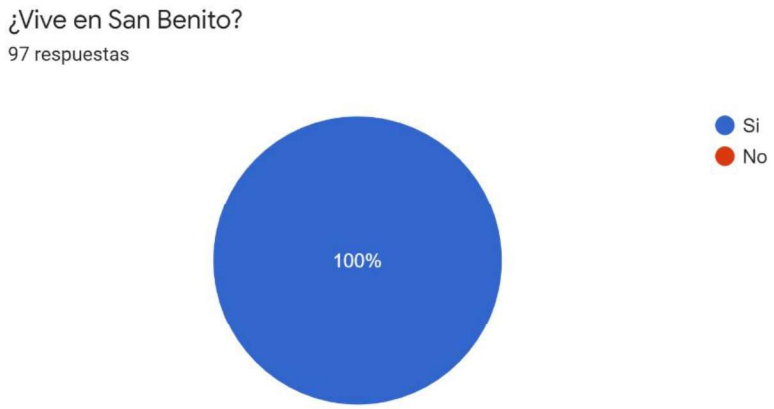


Figura 52. Confirmación de que el encuestado vive en San Benito. Fuente: Google Forms.

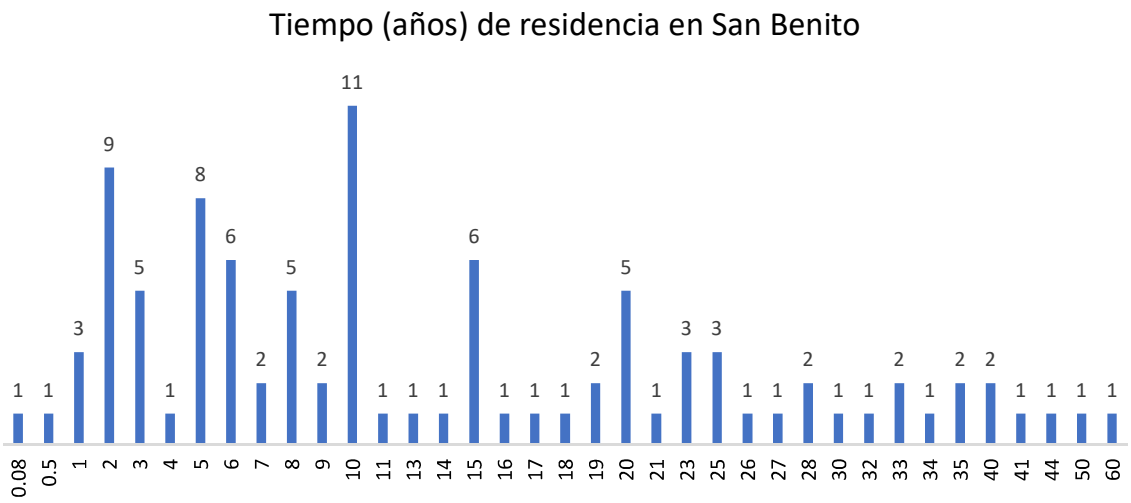


Figura 53. Cantidad de personas por tiempo en años de residencia en San Benito. Elaboración propia.

11. ANEXO 3. Normatividad Vigente Año 2021

Tipo	Número	Año	Temática
			GENERAL
Decreto	2811	1974	Por medio del cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables o de protección al Medio Ambiente, se regula el manejo de los recursos naturales y los demás elementos y factores que influyen en él, además de reglamentar el manejo de residuos, basuras, desechos o desperdicios.
Ley	9	1979	Por la cual se distan las medidas sanitarias para la protección del medio ambiente; se establecen las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana; y los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del ambiente
Ley	29	1992	Ley aprobatoria, Protocolo de Montreal
Ley	99	1993	Por lo cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el sector publico encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones
Decreto	1600	1994	Por el cual se reglamenta parcialmente el Sistema Nacional Ambiental SINA en relación con los sistemas nacionales de investigación ambiental y de información ambiental
Ley	164	1995	Ley aprobatoria, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
Ley	388	1997	Ley de ordenamiento territorial.
Ley	590	2000	Por la cual se dictan disposiciones para promover el desarrollo de las micro, pequeñas y medianas empresas
Decreto	1180	2003	Por el cual se reglamenta el título VII de la ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales
Decreto	1200	2004	Por el cual se determinan los instrumentos de planificación ambiental y se adoptan otras disposiciones
Resolución	0643	2004	Por medio de la cual se establecen los indicadores que trata el artículo 11 del decreto 1200 de 2004 y se

Tipo	Número	Año	Temática
			adoptan otras disposiciones. Los indicadores mínimos de referencia para que las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrrollo Sostenible evalúen su gestión, el impacto generado y se construya a nivel nacional un agregado que permita evaluar la implementación de la política ambiental
Decreto	216	2006	Objetos y nueva estructura orgánica del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
RESIDUOS			
Ley	9	1979	Establece las normas sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana y los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legislación y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del ambiente
Ley	430	1998	Dicta las normas prohibitivas y de responsabilidad ambiental, en lo referente a los desechos peligrosos. Regula todo lo relacionado con la prohibición de introducir desechos peligrosos al territorio nacional, en cualquier modalidad, según lo establecido en el Convenio de Basilea y sus anexos, y con la responsabilidad por el manejo integral de los generados en el país en el proceso de producción, gestión y manejo de los mismos. Así establece los casos en los cuales se permite la combustión de los aceites de desecho
Ley	491	1999	Penaliza la tenencia, fabricación y tráfico de sustancias peligrosas, efectuado de manera ilícita, y debe basarse en la legislación general que indique que es considerado como manejo ilícito
Decreto	321	1999	Adopta el plan nacional de contingencia contra derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas
Resolución	1096	2000	Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico RAS.
Decreto	1713	2002	Presentación del servicio público de aseo, gestión integral de residuos sólidos.
Decreto	4741	2005	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión ambiental.
Resolución	1362	2007	Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el registro de generadores de

Tipo	Número	Año	Temática
			residuos o desechos peligrosos, a que hacen referencia los artículos 27 y 28 del decreto 4741 del 30 de Diciembre de 2005
Decreto	3930	2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II dek Título VI – Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
			RECURSO HIDRICO
Decreto	1541	1978	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto. Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.
Decreto	2811	1974	En cuanto a usos del agua y residuos líquidos
Decreto	2858	1981	Por lo cual se reglamenta parcialmente el artículo 56 del Decreto Ley 2811 y se modifica el Decreto 1541 de 1978
Decreto	1594	1984	Por el cual se reglamentan los usos del agua y residuos líquidos
Ley	142	1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.
Resolución	273	1997	Por la cual se fijan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST)
Decreto	901	1997	Por medio de la cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se estableces las tarifas de estas.
Ley	373	1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Resolución	372	1998	Por la cual se adopta un formulario de información relacionada con el cobro de la tasa retributiva y el estado de los recursos y se adoptan otras determinaciones.
Decreto	1681	1978	Por el cual se reglamenta la parte X del Libro II del Decreto Ley 2811 de 1974 que trata de los recursos hidrobiológicos.
Decreto	155	2004	Reglamentar el artículo 43 de la ley 99 de 1993 en lo relativo a las tasas por utilización de aguas superficiales, las cuales incluyen las aguas estuarinas y las aguas subterráneas, incluyendo dentro de estas

Tipo	Número	Año	Temática
			los acuíferos litorales. No son objeto de cobro del presente decreto las aguas marítimas.
Decreto	3100	2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.
Decreto	1200	2004	Por el cual se determinan los instrumentos de planificación ambiental y se adoptan otras disposiciones
Resolución	0865	2004	Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones
Ley	9	1979	Por la cual se dictan medidas sanitarias.
ESPECIES			
Ley	17	1981	Por la cual se aprueba la "Convención sobre en Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre", Suscrita en Washington, D.C. el 3 de marzo de 1993
Ley	84	1989	Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Protección de los Animales y se crean unas contravenciones y se regula lo referente a su procedimiento y competencia
Ley	165	1994	Por medio de la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Rio de Janeiro el 5 de junio de 1992
Ley	611	2000	Por la cual se dictan normas para el manejo sostenible de especies de Fauna Silvestre y Acuática
Ley	807	2003	Por medio de la cual se aprueban las Enmiendas de la Convención sobre el Comercio internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, firmada en Washington D.C. el 3 de marzo de 1973.
AIRE			
Decreto	02	1982	Por el cual se reglamentan parcialmente el titulo 1 de la ley 09 de 1979 y el decreto ley 2811 de 1974 en cuanto a las emisiones atmosféricas
Ley	30	1990	Ley aprobatoria, Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono.
Decreto	948	1995	Prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire
Resolución	1351	1995	Por medio de la cual se adopta la declaración denominada informe de estado de emisiones (IE-1)

Tipo	Número	Año	Temática
Resolución	619	1997	Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.
Resolución	415	1998	Por la cual se establecen los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desecho y las condiciones técnicas para realizar la misma.
Resolución	623	1998	Por la cual se modifica parcialmente la resolución 898 de 1995 que regula los criterios ambientales de calidad de combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial de industrial y en motores de combustión interna.
Resolución	304	2001	Por la cual se establecen los requisitos, las condiciones y los límites máximos permisibles de emisiones para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos
Resolución	0601	2006	Por la cual se establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.-
Decreto	244	2006	Por el cual se crea y reglamenta la Comisión Técnica Nacional Intersectorial para la prevención y el control de la contaminación del aire (Conaire).
Decreto	979	2006	Por el cual se modifican los artículos 7, 10, 93 y108 del decreto 948 de 1995
Resolución	2120	2006	Prohíbe y controla la importación de sustancias agotadoras de la capa de ozono listadas en los grupos II y III del anexo C del Protocolo de Montreal y se establecen medidas para controlar las importaciones de las sustancias agotadoras de la capa de ozono listadas en el grupo I del anexo C del Protocolo de Montreal
Resolución	902	2006	
Resolución	909	2008	Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
			RUIDO
Resolución	08321	1983	Por la cual se dictan normas sobre protección y conservación de la audición de la salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisiones de ruidos.
			EMPRESAS
Ley	905	2004	Por medio de la cual se modifica la ley 590 de 2000, sobre la promoción de desarrollo de la micro, pequeña y mediana empresa Colombiana

Tipo	Número	Año	Temática
Ley	1124	2007	Por el cual se reglamenta el departamento de gestión ambiental de las empresas a nivel industrial y se dictan otras disposiciones.
Decreto	1299	2008	