

Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

Propuesta de Sostenibilidad Energética e Hídrica por medio de un proceso de proyección de consumo mediante el uso del software Vensim.

Aguirre Ávila Juana Alejandra Cód. 64161069

Burgos Joya Lizeth Tatiana Cód. 64161055

Propuesta de Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director: Gina Paola González Angarita

Universidad Libre

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Ambiental

Bogotá, Febrero 2021

Declaratoria de originalidad:

“La presente propuesta de trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental de la Universidad Libre no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de calificación alguna, ni de título, o grado diferente o adicional al actual. La propuesta de tesis es resultado de las investigaciones del autor (es), excepto donde se indican las fuentes de Información consulta

Nombre Completo

Aguirre Ávila Juana Alejandra

Cód.: 64161069

Burgos Joya Lizeth Tatiana

Cód.: 64161055

Firmas (Digital) y Códigos:

AGRADECIMIENTOS

En la realización de este proyecto, son muchas las personas para las cuales se quedan cortas nuestras infinitas gracias por su apoyo moral, intelectual y anímico; pero antes de sumergirnos en estos reconocimientos, agradecemos a Dios por otorgarnos el don de sabiduría y el entendimiento para realizar a cabalidad este escrito y por premiarnos con salud en estos momentos difíciles para honrar a nuestras familias con la cúspide de un sueño.

Ahora bien, queremos exaltar la labor e incidencia de nuestras familias en este proyecto, las cuales incansablemente se esforzaron por darnos apoyo, fuerza y lo más importante motivación para concluir con el primer eslabón en nuestra carrera profesional; a la Universidad Libre y su personal docente que por largos y productivos años nos infundieron los valores, aprendizajes, conocimientos y experiencias que hoy nos convierten en futuras profesionales preparadas para difundir y extender estos conocimientos adquiridos; a nuestra tutora quien con resiliencia y convicción vi en nosotras materializadoras de conocimientos e ideas y nosotras en ella una guía y consejera que nos permitió precisar nuestras ideas en este proyecto que con orgullo ofrecemos a la academia. Gracias

RESUMEN

Teniendo en cuenta que en Colombia un 70.41% de la energía eléctrica proviene de plantas hidroeléctricas, debido al nexo existente entre el agua-energía y su aumento en los niveles de aprovechamiento; se hace necesario realizar un análisis tendencial mediante modelos informáticos y simulaciones que permitan, prevenir comportamientos negativos futuros manteniendo un equilibrio entre el medio ambiente y la eficiencia energética e hídrica.

En este sentido, el siguiente trabajo consiste en elaborar una modelación de dichos recursos de la empresa Arte didáctica S.A.S, con el objetivo de analizar los patrones de consumo y de esta manera generar una proyección hacia el 2030 a través del software Vensim, que establezca oportunidades de mejora frente al uso eficiente de los recursos. Para ello, se definió la dinámica de sistemas como metodología de trabajo basada en el diseño de simulaciones; previa identificación de variables y elementos que interactúan dentro del sistema y estudiar el comportamiento del mismo, analizando el impacto de políticas alternativas.

Los resultados obtenidos a partir de esta metodología indican un incremento significativo en el consumo de recursos al año 2030, por lo que se establece la inclusión de tecnologías limpias alineadas al Crecimiento verde y Producción más limpia, que disminuyeron 10% en consumo energía y 59% en consumo de agua. De igual forma, se establecieron planes de Gestión Ambiental que fortalecen la propuesta sostenible de la empresa y a su vez, contribuyen con el control de la contaminación y la mitigación de impactos ambientales asociada a la demanda de recursos.

Palabras claves: Vensim, Modelo de simulación, Proyección, Consumo, Producción más Limpia

ABSTRAC

Bearing in mind that in Colombia 70.41% of electrical energy comes from hydroelectric plants, due to the existing link between water-energy and its increase in the levels of use; It is necessary to carry out a trend analysis through computer models and simulations that allow future negative behavior to be prevented, maintaining a balance between the environment and energy and water efficiency.

In this sense, the following work consists of developing a modeling of these resources of the company Arte Didactica SAS, with the aim of analyzing consumption patterns and thus generating a projection towards 2030 through the Vensim software, which establishes opportunities of improvement against the efficient use of resources.

To do this, system dynamics was defined as a work methodology based on the design of simulations; prior identification of variables and elements that interact within the system and study its behavior, analyzing the impact of alternative policies.

The results obtained from this methodology indicate a significant increase in the consumption of resources by the year 2030, for which the inclusion of clean technologies aligned with Green Growth and Cleaner Production is established, which decreased 10% in energy consumption and 59% in water consumption. Likewise, Environmental Management plans were established that strengthen the company's sustainable proposal and, in turn, contribute to the control of pollution and the mitigation of environmental impacts associated with the demand for resources.

Keywords: Vensim, Simulation model, Projection, Consumption, Cleaner Production

CONTENIDO

0. INTRODUCCIÓN.....	1
1. ANTECEDENTES.....	3
1.1 SIMULACIONES COMO ALTERNATIVAS EN EL CAMPO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	3
1.2 SIMULACIONES DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS EN EL APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO.....	6
1.3 SIMULACIONES Y SU INTERACCIÓN ENTRE EL CONSUMO ENERGÉTICO E HÍDRICO.....	10
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
4. JUSTIFICACIÓN INICIAL O PRELIMINAR	15
5. OBJETIVOS	16
5.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
5.2. OBJETIVO (S) ESPECÍFICO (S).....	16
6. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO.....	17
7. MARCO REFERENCIAL	20
7.1. MARCO TEÓRICO.....	20
7.1.1. La Energía y sus Matrices a Escala Global y Nacional	20
7.1.2. Programa de Aprovechamiento de Energías Alternativas.....	25
7.1.3. El Agua y sus Matrices a Nivel Global y Nacional.....	27
7.1.4. Programa de aprovechamiento de Aguas lluvia	32
7.2. MARCO CONCEPTUAL.....	34
7.2.1. Modelos con Dinámica de Sistemas	34
7.2.2. Herramientas de modelación y simulación en Dinámica de Sistemas.....	37
7.2.3. Desarrollo Sostenible.....	55
7.2.4. Producción Mas Limpia (PML).....	59
8. MARCO LEGAL.....	62
9. MARCO METODOLOGICO	69

9.1.	Tipo de Investigación.....	70
9.2.	Diseño de los Sistemas de Simulación en Vensim.....	72
9.2.1.	Definición de las variables	72
9.2.2.	Sistema de simulación y proyección de consumos en la empresa Arte Didáctica S.A.S.....	77
9.3.	Cuadro metodológico.....	79
10.	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	82
10.1.	MODELO DE SIMULACIÓN ENERGETICO E HIDRICO	82
10.2.	ECOMAPAS E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE MAYOR CONSUMO.....	94
10.3.	PROGRAMAS ESTRATEGICOS AMBIENTALES	95
11.	ANALISIS Y RESULTADOS	96
12.	RECOMENDACIONES.....	107
13.	CONCLUSIONES	108
14.	BIBLIOGRAFIA.....	109
	ANEXOS.....	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Geográfica de la Sede Principal y de Impresión de la Empresa Arte Didáctica S.A.S.....	18
Figura 2. Ubicación Geográfica de la Sede Satélite de la Empresa Arte Didactica S.A.S.....	19
Figura 3. Proceso de Sistema de Recolección de Aguas Lluvias por Métodos de Canales de Cubiertas.....	33
Figura 4.Diagrama Causal de Dinámica de Sistemas.....	36
Figura 5. Diagrama de Forrester de Dinámica de Sistemas.....	37
Figura 6. Menú de Vensim.....	48
Figura 7.Barra de Herramientas Principal de Vensim.....	49
Figura 8.Barra de Herramientas de Dibujo de Vensim.....	49
Figura 9. Barra de Herramientas de Análisis de Vensim.....	51
Figura 10. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	56
Figura 11. Ilustración de un Ecomapa Nivel de Producción.....	61
Figura 12.Información base de costos de energía por contadores.....	83
Figura 13 Información base de consumo de agua por contadores.....	84
Figura 14. Subsistema consumo de energía.....	85
Figura 15. Subsistema costos de energía.....	85
Figura 16. Subsistema consumo de agua.....	86
Figura 17. Subsistema costo de agua.....	86
Figura 18. Modelo de simulación Escenario I.....	87
Figura 19. Subsistema de la variable Brillo Solar.....	88
Figura 20.Subsistema de la Variable Precipitación.....	89

Figura 21. Valor de aprovechamiento de consumo de energía.	91
Figura 22. Valor de aprovechamiento de costos de agua.	91
Figura 23. Relación de Consumo de energía y brillo solar.	92
Figura 24. Relación entre el consumo de agua y precipitación.	93
Figura 25. Relación de inversión Panel Solar.....	93
Figura 26. Modelo de simulación Arte Didáctica S.A.S (Escenario I Y II).....	94

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de herramientas software para el modelado y simulación con Dinámica de Sistemas.....	39
Tabla 2. Normatividad vigente que rige el proyecto.	62
Tabla 3. Definición de las variables del proyecto	73
<i>Tabla 4. Abreviaturas de las variables</i>	<i>77</i>
Tabla 5. Cuadro metodológico del proyecto.	79
Tabla 6. Fundamento del valor de aprovechamiento de la implementación de tecnologías limpias.....	90
Tabla 7. Matriz DOFA empresa Arte Didáctica S.A.S	95
Tabla 8. Porcentaje de error y validación del Sistema de Simulación de Arte Didáctica S.A.S.	101
Tabla 9. Principales actividades del proceso de producción de Arte Didáctica S.A.S	102
Tabla 10. Consumo de agua por actividades Sede principal de Arte Didáctica S.A.S	103
Tabla 11. Consumo de agua por actividades Sede de impresión de Arte Didáctica S.A.S	104
Tabla 12. Consumo de energía por equipos y maquinarias Sede principal Arte Didáctica S.A.S	105
Tabla 13. Consumo de energía por equipos y maquinarias Sede de impresión Arte Didáctica S.A.S	105

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Error relativo para la validación del Sistema.....	54
Ecuación 2. Tasa de cambio (Tc).....	82
Ecuación 3. Tendencia (Tnd)	83
Ecuación 4. Total de consumo de energía de los contadores 1 y 2	85
Ecuación 5. Total de costos de energía de los contadores 1 y 2	85
Ecuación 6. Total consumos de agua de los contadores 1 y 2.....	86
Ecuación 7. Total costo de agua de los contadores 1 y 2	86
Ecuación 8. Tasa de cambio del Brillo solar.....	88
Ecuación 9. Tendencia de Brillo Solar.....	88
Ecuación 10. Tasa de cambio de precipitación	89
Ecuación 11. Tendencia de Precipitación	89
Ecuación 12. Variable consumo de energía.....	92
Ecuación 13. Variable costos de energía.....	92
Ecuación 14. Variable consumo de agua.....	92
Ecuación 15. Variable Costos de Agua.....	92

LISTA DE EJEMPLOS

Ejemplo 1. Tasa de cambio de consumo de agua.....	82
Ejemplo 2. Tendencia de consumo de agua	83
Ejemplo 3. Tasa de cambio del brillo solar	88
Ejemplo 4. Tasa de cambio de precipitación	89

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Costos de Agua (Escenario I Y II).....	98
Gráfica 2. Consumo de agua (Escenario I y II).....	97
Gráfica 3. Costo de Energía (Escenario I Y II).....	100
Gráfica 4. Consumo de Energía (Escenario I Y II)	99

0. INTRODUCCIÓN

En Colombia el incremento de las actividades económicas tales como empresas encargadas de la producción de actividades mercantiles o industriales, se caracterizan por un amplio consumo energético e hídrico ligado a los procesos de producción y fabricación, ocasionando una mayor demanda de los recursos. Dichos consumos pueden ser estudiados y/o analizados por medio de simulaciones que permiten prever el comportamiento futuro, con el fin de mantener un equilibrio entre el medio ambiente y la eficiencia energética e hídrica.

Si bien es cierto, la importancia de integrar métodos y mejoras dentro de los procesos de una empresa bajo conceptos de gestión ambiental ha ido incrementándose y fortaleciéndose a través del tiempo; sin embargo, actualmente las pequeñas empresas no cuentan con un sistema de gestión ambiental, encaminado a la identificación y medición de los consumos energéticos e hídricos ocasionados por los procesos de producción.

En este sentido, y debido al exponencial consumo de los servicios energéticos e hídricos por el aumento del sector económico e industrial en Colombia, y en relación con la disminución de la oferta de dichos recursos, el objetivo de la siguiente investigación se centra en el análisis de la variabilidad en los patrones de consumo de los recursos en la empresa Arte Didáctica S.A.S a través de una simulación y proyección de consumo hacia el 2030 con el fin de valorar la tendencia de los consumos actuales y las afectaciones implícitas que esto conlleve a los consumos

futuros de la empresa y finalmente el planteamiento de planes estratégicos que aporten a la disminución de tales consumos.

De esta forma, la metodología propuesta para el desarrollo de la investigación permite construir un modelo de simulación del sistema que permita analizar la raíz del problema y el comportamiento del uso de los recursos. De igual forma plantear planes y estrategias de eficiencia energética, ahorro y uso eficiente del agua, por medio de sistemas fotovoltaicos y aprovechamiento de aguas lluvia. Lo anterior derivado de los resultados obtenidos mediante el diseño de Ecomapas (PML) y matrices DOFA ligados a las actividades de la empresa

1. ANTECEDENTES

Para el siguiente estudio se revisan los modelos de sostenibilidad que analizan los consumos energéticos e hídricos a través de simulaciones y modelaciones que evalúan la incidencia de los patrones de consumos actuales y los efectos adversos a futuro. A continuación, se presentan algunos estudios relacionados con las simulaciones de energía que involucran la inclusión de los combustibles alternativos, también se involucran investigaciones que analizan el consumo hídrico en diferentes instituciones.

1.1 SIMULACIONES COMO ALTERNATIVAS EN EL CAMPO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.

En este sentido Bryngidur, Ehsan et al, en su estudio “Simulation of Alternative Fuel Markets using Integrated System Dynamics Model of Energy System” propone un modelo de dinámica de sistemas con el fin de evaluar el proceso de transición hacia la inclusión de combustibles alternativos. El modelo comprende el análisis de la interacción de la oferta y precios de la energía, infraestructura y demanda de combustible. El periodo de estudio establecido por los autores para la simulación es de 2015 a 2050 y proporciona información sobre las políticas energéticas dado que el modelo de dinámica de sistemas es capaz de simular el impacto de los instrumentos políticos desde el punto de vista de la oferta y la demanda. El modelo planteado presentó resultados favorables, puesto que demuestra la influencia del comportamiento del consumidor y proveedor de la energía, la rentabilidad del sistema energético evaluado y la factibilidad de la inclusión de los combustibles alternativos [1].

Locmelis et al, en su estudio “Energy policy for energy intensive manufacturing companies and its impact on energy efficiency improvements. System dynamics approach”, los autores proponen un modelo de dinámica de sistemas que permita, simular el comportamiento de las empresas con parámetros y valorar la política energética de las empresas manufactureras, que consumen considerables cantidades de energía, por otro lado, evaluar la idoneidad de la política energética de Letonia y proporcionar herramientas para simular mejoras en dichas políticas energéticas. El modelado se estableció en un periodo de 7 años hasta el 2017, algunas de las variables que se tuvieron en cuenta fue el consumo energético de la empresa, el valor agregado bruto de la empresa, ahorros de eficiencia energética y flujos de entrada y salida. Finalmente, este estudio concluye que los ahorros de energía acumulados van en aumento debido a las medidas de eficiencia energética, por otro lado, la simulación del sistema muestra que la política energética modificada produce mejores resultados en forma de ahorros de eficiencia energética acumulados que la política actual, por último, los autores proponen necesario modificar la política energética de letonia agregando los costos de energía reales [2].

Ramírez et al con su estudio “Un Modelo de Simulación de la Producción y Consumo de Energía Eléctrica en Venezuela” traza su objetivo en la elaboración de un modelo de simulación y consumo energético mediante la metodología de Dinámica de Sistemas. Este estudio toma en cuenta las variables involucradas en la producción de electricidad de cuatro hidroeléctricas del país, algunas de estas variables son el consumo de energía eléctrica y la generación termoeléctrica. El modelo de simulación plantea Diagramas de Forrester, para cada central hidroeléctrica y

propone 4 escenarios de evaluación del modelo planteado. Finalmente se concluye que el Sistema Energético del país es muy vulnerable a los cambios climáticos que podría conllevar a racionamientos del recurso hídricos y por ende el recurso de energía, por otro lado, se define la importancia de aumentar el uso de las termoeléctricas con el fin de ayudar a las hidroeléctricas y evitar el corte de los servicios [3].

Por otro lado, el estudio realizado por Bustamante, G. en Quito, Ecuador en el año 2018 titulado “Análisis de escenarios de la gestión energética del sector industrial del Ecuador”. El cual tiene como objetivo analizar el uso eficiente de la energía y los escenarios de la demanda energética en la industria ecuatoriana, con el fin de plantear medidas que intervengan en la optimización de energías dentro del proceso productivo incrementando la productividad a un costo cada vez menor, a la par de mantener el equilibrio con el medio ambiente. Para realizar las modelaciones de tendencia de consumo de energía lo hicieron por medio de Software Vensim y realizaron estas proyecciones durante los periodos 2005-2040, las cuales tuvieron como resultado que la proyección a 2040 indica que a partir del año 2025 se tendrá un incremento considerable de energía, basado en 3 escenarios, en donde el más conveniente es el escenario 2 y en donde se debe trabajar y mejorar con políticas energéticas, que permitan una reducción de consumo energético. Debido a esto y tomando en cuenta el potencial hidroeléctrico del Ecuador, Debe apostar por una energía más limpia en donde el mix energético tenga mayor participación de hidroenergía y otras fuentes renovables. Proyectando a 2040 una implicación directa del 70% de hidroenergía. Mientras que la solución para la disminución del diésel se centra en un retiro gradual del subsidio y sustituirlo por biodiesel o gas

natural, dependiendo del uso en las industrias [4].

De igual modo, de acuerdo a la investigación elaborada por Giselle Ramírez, Luisa Giraldo, Natalia Tabares y Juan Osorio que tiene como título: “Simulación dinámica de una alternativa de generación de energía a partir de residuos” el cual tiene como objetivo principal plantear una comparación de los efectos ambientales que se encuentran relacionados con la propuesta denominada wáter to energy que hace referencia a la incineración de residuos con las alternativas de rehusó o reciclaje, En este sentido, el modelo planteado es a través de la dinámica de sistemas con la información que se tiene de Colombia sobre los residuos de los envases plásticos. De esta manera, se elabora una comparación de los efectos en los cinco indicadores ambientales, determinando que algunos de estos indicadores evidencian un efecto positivo en algunos escenarios. Sin embargo, se llega a la conclusión de continuar con la investigación y lograr soportarla adecuadamente [5].

1.2 SIMULACIONES DESDE LA DINÁMICA DE SISTEMAS EN EL APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO

De la misma forma Faezipour & Ferreira en su estudio “Assessing Water Sustainability Related to Hospitals Using System Dynamics Modeling” el cual tiene como objetivo evaluar la sostenibilidad del agua relacionada con los hospitales, considerando los factores relacionados con el uso del recurso para el mantenimiento y establecimiento de dichas infraestructuras. Presenta una simulación que modela el comportamiento de los factores relacionados con la sostenibilidad del agua y el uso de la misma en los hospitales; por otro lado, se

realiza una validación del modelo, que permita definir la efectividad del mismo. Los factores principales que toma en cuenta el modelo son: nivel de demanda de servicios y recursos para pacientes, nivel de accesibilidad a los servicios y recursos, quejas de los pacientes, volumen real de agua necesaria, huella hídrica, costo de agua en el hospital, costo de recursos y servicios para los pacientes, cantidad de pacientes, cantidad de residuos hospitalarios, nivel de calidad del agua, entre otros. Finalmente se proporcionan datos reales al simulador que permite evaluar varios escenarios, en este caso se presentaron resultados efectivos de reducción en el consumo de agua (15%), huella ecológica del hospital (0,02 ha) y se determina que es un modelo que permite tomar decisiones sobre los niveles de reducción y reciclaje del agua [6].

Por otro lado, Cheng en su estudio “ System dynamics model of Suzhou water resources carrying capacity and its application” propone el uso de Dinámica de Sistemas para el análisis de la capacidad de carga de los recursos hídricos, con el fin de plantear un método con un enfoque de desarrollo sostenible, y que permita combinar diferentes factores de la sociedad, la economía y los recursos naturales para estimar dicha capacidad de carga hídrica y de esta forma proteger y mantener las funciones básicas del ecosistema de la ciudad. El autor propone la división del sistema en 4 componentes (recursos hídricos, sociedad, economía y ecoambiente) y 7 subsistemas basados en la industria y reutilización de aguas residuales; estos componentes definen la cantidad de agua disponible y utilizada para cada uno de los subsistemas, teniendo en cuenta la demografía del área de estudio. Se estableció un periodo de simulación del año 2005 al año 2030 y

también la formulación de 3 programas de simulación: continuidad de la utilización actual del agua, conservación/ahorro de agua y explotación del agua. Finalmente, las tres simulaciones arrojaron datos específicos para cada uno de ellos, dentro de los cuales se puede apreciar capacidad de recursos hídricos bajos debido a indicadores económicos, reutilización de agua baja en relación a la elevación valores de producciones agrícolas e industriales y se concluye que el plan de conservación/ahorro es la simulación con proyecciones más eficaces para elevar el nivel de la capacidad de carga de los recursos [7].

De la misma forma Rubio, Adria en su estudio “Desarrollo y aplicación de un modelo de dinámica de sistemas para la gestión integral del sistema Júcar” desarrolló un modelo como lo describe su título usando el software Vensim, con el objetivo de representar sistemas de recursos hídricos complejos, definir las normas de operación y demostrar índices del estado del sistema hídrico de forma dinámica. Para ello se realizó un planteamiento estructural del modelo basado en una serie de variables (caja y auxiliares) puntos para la introducción de datos, relación entre las variables y el esquema de los subsistemas presentes, por otro lado, la calibración del modelo, el estudio de mejoras de la gestión del sistema y la elaboración de escenarios por medio de nuevas variables, dinámicas y subsistemas. El modelo en Vensim se diseñó en 3 submodelos que integra las distintas variables y componentes del sistema que incluyen tres embalses, que regulan el funcionamiento del sistema. Los escenarios planteados para la simulación se estimaron para un periodo de 2041-2070 arrojando datos de aportaciones hídricas en (Hm^3) para cada uno de los embalses y de esta forma estimar el recurso para

estos periodos y cada uno de los escenarios planteados. Finalmente se encuentran las gráficas de comportamiento del recurso hídrico Júcar [8].

De la misma forma, Pino, Cesar con su estudio “Análisis de la escasez hídrica en Chile con un modelo de simulación de dinámica de sistemas” el cual fue planteado con el objetivo de observar y estudiar la tendencia del consumo hídrico que permita, asegurar el abastecimiento de agua para consumo humano, producción agrícola y otros usos. El modelo fue diseñado para simular diez años al futuro, sin embargo, es un modelo aplicable para cualquier región del país, teniendo en cuenta las variables de cada zona de estudio, el piloto de análisis cuenta con variables como: embalses, consumo per cápita, aguas lluvia, agua para riego, cultivos, entre otras. Finalmente se obtuvieron gráficos de los aportes del agua dulce en los embalses, consumos en función del aumento demográfico y el uso para riego; lo anterior concluyendo la necesidad de planes que permitan disminuir el riesgo de escasez del recurso en esta zona de estudio puesto que los valores de consumo superan los niveles de recursos disponibles [9].

Finalmente, el estudio de simulación hídrica de Ibarra. D, Redonodo. J y Olivar. J en su artículo titulado “Tendencias del consumo de agua en la producción de bioetanol en Colombia” en donde presentan un modelo matemático para la evaluación de distintos escenarios de la estimación de la tendencia del consumo de agua, en el proceso productivo del bioetanol en Colombia la información para la construcción, validación y calibración del modelo fue obtenida de la Federación Nacional de Biocombustibles. Se evaluaron estrategias técnicas para el ahorro de consumo de agua a través del software Vensim Ple 7.1 en donde lograron estudiar y comprender el sistema y su afectación crítica al consumo de agua específicamente

[10].

Por otro lado, El ingeniero Cesar Leonardo Joya Suarez en su proyecto de grado denominado: Análisis y diseño de políticas para el control y regulación hidrográfica del cauce de rio Bogotá en las cuencas alta, media y baja utilizando dinámica de sistemas, el cual tiene como objetivo principal verificar el comportamiento del Sistema Hidrográfico del Rio Bogotá y cada uno de los puntos críticos y de confluencia de los diversos cauces, embalses y plantas de tratamiento que se encuentran dentro de la cuenca. En este sentido, destaca que en dicho estudio se utilizó la metodología de Dinámica de Sistemas la cual brinda un escenario que se puede comparar con la realidad. De esta manera, se logró determinar que de acuerdo al desarrollo de las políticas de control y regulación hidráulica del cauce del Rio Bogotá a través de la Dinámica de Sistemas se identificó el comportamiento del flujo y los diversos factores críticos que pueden influir en el mejoramiento del sistema hidrográfico [11].

1.3 SIMULACIONES Y SU INTERACCIÓN ENTRE EL CONSUMO ENERGÉTICO E HÍDRICO

El estudio de Bakhshianlamouki et al, “A system dynamics model to quantify the impacts of restoration measures on the water-energy-food nexus in the Urmia lake Basin, Irán” plantea un modelo de dinámica de sistemas apoyado sobre un diagrama causal para la evaluación del impacto del cambio climático, la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos y la restauración de la Cuenca del Lago Urmia. Propone en primera instancia la determinación de los principales componentes del sistema y su interacción entre ellos, con base a ello el desarrollo del diagrama causal, que permite la simulación entre las variables

establecidas con sus respectivas etiquetas. En este caso se denotaron etiquetas (-) que indica un cambio en la variable conduce a un cambio en la dirección opuesta de la variable y viceversa para (+). En segunda instancia la construcción del diagrama de flujo en el software de simulación, que permite la simulación y evaluación de las interacciones de la variable, dando como resultado el posible escenario de lo que ocurre establecidas las variables. El modelo se desarrolló para un periodo de verificación del año 1984 al año 2013 y posteriormente se extendió hasta el año 2040 para la evaluación de los escenarios. Seguidamente se establecen escenarios futuros basados en planes de acción sostenible, intereses sociales y económicos. Finalmente se evidencia que el modelo es efectivo para la recreación de las variables y escenarios analizados, y el acumulado de dichos escenarios es eficaz para el aumento del nivel del lago hacia un umbral alto para la función ecológica sostenible [12].

De la misma forma De Sterket et al, en su estudio “Modelling the dynamic interactions between London’s water and energy systems from an end-use perspective” realiza una modelación por medio de Dinámica de Sistemas con el objetivo de representar las interacciones del nexo agua-energía y su influencia en la demanda de los recursos. Mediante el modelo se incluyen políticas de mitigación del cambio climático, planificación de los recursos hídricos con respecto a la capacidad del sistema y el aumento del suministro. El autor realiza un diagrama causal que contiene los componentes y variables más importantes del sistema; estas variables se agruparon en 5 categorías: la primera haciendo referencia a la demanda de servicios de agua y energía, la segunda refiriéndose

al grado de uso y calidad de vida de la población, tercero el suministro y consumo de agua, cuarto el suministro y consumo de energía y finalmente el clima relacionado directamente con las emisiones de gases de efecto invernadero. La simulación se realizó del 2005 al 2050, concluyendo que la demanda es menor por lo que se requiere un menor aumento en la oferta, por otro no se logra cumplir con los objetivos de emisiones y una calidad de vida más alta debido a las bajas tasas de descarbonización [13].

Por último, González, Aldana & Huertas en su estudio “Simulación del consumo energético e hídrico en la empresa Inversiones Aldemar bajo propuesta de sostenibilidad” plantea un modelo de simulación del consumo de dichos recursos de la empresa, con el fin de analizar la tendencia de consumo bajo diferentes escenarios de simulación para el año 2030. Los escenarios de la simulación se fundamentan en la situación actual de la empresa, introducción de estrategias de producción más limpia, y por último la inclusión de tecnologías como paneles solares y aprovechamiento de aguas lluvias. Las simulaciones fueron desarrolladas bajo técnicas de simulación de dinámica de sistemas usando datos históricos de consumo, que posteriormente fueron ingresados al software Vensim PLE. La investigación concluye, que, a partir de los escenarios planteados, se representa una reducción significativa en el consumo de recurso hídrico y energético con la implantación del tercer escenario [14].

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El uso global del agua ha venido aumentado en un 6% en los últimos 100 años y continúa creciendo a un ritmo constante de aproximadamente 1% por año, como

resultado del aumento de la población, el desarrollo económico y los patrones de consumo cambiantes. En este sentido, la combinación de estos efectos y su ampliación hacen que la demanda de agua aumente significativamente, combinado con una oferta más errática e incierta [15].

En este contexto, América latina se encuentra entre los sitios con mayor oferta hídrica teniendo el 33% del recurso hídrico a nivel mundial, en donde el 2.2% de este recurso es destinado para uso doméstico y productivo. Sin embargo, se estima que debido al incremento económico el uso del agua del sector industrial aumentará los niveles actuales de 10% a 15 %. Por otro lado, los países más avanzados incrementarán de un 20 % a 25 % e incluso podrían superar este consumo [16].

En Colombia se estima un rendimiento hídrico en términos de caudal específico de 56 l/s/km². Este rendimiento hídrico está por encima del promedio mundial (10 l/s-km²) y del rendimiento latinoamericano (21 l/s-km²) [17]. En este sentido, La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) proyectó que la demanda de agua aumentaría en un 55% entre 2000 y 2050, principalmente en función de las crecientes demandas de fabricación (+ 400%), generación de energía térmica (+ 140%) y uso doméstico (+ 130%) (OCDE, 2012). Por otro lado, la demanda para el desarrollo de las actividades socioeconómicas se representa principalmente mediante el uso agrícola (29%) e industrial (13%) [18].

De esta manera el agua se convierte en un insumo esencial que entra directamente en la función de la producción industrial y energética de las empresas de servicios

públicos, siendo la generación de energía el insumo fundamental de sectores energointensivos. En Colombia esta producción energética está basada principalmente en la generación de energía mediante hidroeléctricas quienes aportan 16,609,520 MWh y aumentando actualmente, por ende, es importante definir ambos recursos como indispensables sin dejar de lado el nexo existente entre estos recursos [19].

En Colombia el incremento de las actividades económicas tales como empresas encargadas de la producción de actividades mercantiles o industriales, se caracterizan por un amplio consumo energético e hídrico ligado a los procesos de producción o fabricación, ocasionando una mayor demanda de los recursos. Dicho consumo de las empresas se puede evidenciar a través de modelos informáticos tales como simulaciones las cuales Robert E. Shannon, en el libro de Raúl Coss Bu, define como: el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se debe operar el sistema [20].

Por lo tanto, las simulaciones son de gran importancia ya que son herramientas que prevean comportamientos a futuro con el fin de mantener un equilibrio entre el medio ambiente y la eficiencia energética e hídrica a través de la creación de un modelo o réplica virtual que permita obtener resultados cuantitativos y cualitativos de los comportamientos energéticos e hídricos.

Por esta razón, se requiere realizar este tipo de simulaciones a la empresa Arte Didáctica S.A.S la cual se encarga de actividades de impresión y fabricación de productos destinados para decoración y animación de fiestas de cumpleaños, piñatas y matrimonios. De igual forma, la empresa cuenta con un canal de distribución de estos productos organizaciones y negocios que solicitan su servicio. Actualmente Arte Didáctica S.A.S no cuenta con ninguna política ambiental vigente, basadas en el uso de energías renovables, ni políticas de uso eficiente y ahorro de agua que permitan, el aprovechamiento de los recursos; dado a que la empresa no ha reconocido los impactos y problemas ambientales generados a raíz de sus actividades y por ende no se ha identificado las zonas de mayor consumo y los factores que las afectan.

3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Con base a ello es válido preguntar ¿Puede la empresa Arte Didáctica S.A.S mejorar los procesos de consumo energético e hídrico mediante el monitoreo y análisis de una proyección de dichos consumos usando una simulación en Vensim?

4. JUSTIFICACIÓN INICIAL O PRELIMINAR

Los modelos a partir de dinámica de sistemas permiten hacer simulaciones para estudiar el comportamiento de los sistemas y analizar el impacto de políticas alternativas. Se utiliza en especial para investigar la dependencia de los recursos naturales y los problemas resultantes del creciente consumo a nivel global para mejorar en el desarrollo de nuevos productos.

En este sentido, debido al exponencial consumo de los servicios energéticos e hídricos por el aumento del sector económico e industrial en Colombia, y en relación

con la disminución de la oferta de dichos recursos, el objetivo del siguiente trabajo se centra en el análisis de la variabilidad en los patrones de consumo de los recursos en la empresa Arte Didáctica S.A.S a través de una simulación por medio del programa Vensim el cual permite modelar el rendimiento de sistemas reales de una forma simple y flexible, permitiendo la simulación de modelos a través de diagramas de influencia y diagramas de Forrester. De esta manera se realizará una proyección de consumo hacia el 2030 con el fin de valorar la tendencia de los consumos actuales y las afectaciones implícitas que esto conlleve a los consumos futuros de la empresa y por ende su estado en materia ambiental y económico.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la tendencia de consumo hídrico y energético para la construcción de planes estratégicos en la empresa Arte Didáctica S.A.S desde el año 2015 hasta el año 2030.

5.2. OBJETIVO (S) ESPECÍFICO (S)

Hacer una modelación de consumo de agua y energía para analizar sus consumos desde el año 2015 hasta al año 2030.

Construir escenarios y ecomapas para identificar las zonas de mayores consumos hídricos y energéticos, en las etapas de los diferentes procesos de producción de Arte Didáctica S.A.S.

Formular un plan estratégico que permita disminuir los costos y consumos de los

recursos en la empresa, a partir de la simulaciones y proyecciones realizadas en Vensim.

6. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

Arte Didáctica S.A.S es una empresa nacional de tipo privada de la industria manufacturera ubicada en el Barrio Villa Gladys, Engativá en la Ciudad de Bogota; dedicada a la mercantilización, diseño y distribución al por mayor de juegos didácticos, piñatería y productos con fines educativos y recreativos. Fue instaurada y posicionada en el sector comercial desde hace 3 años y cuenta con 2 diferentes sedes donde se llevan a cabo los procesos y actividades de transformación (Figura 2. Ubicación Geográfica de la Sede Satélite de la Empresa Arte Didactica S.A.S) y materialización para los productos finales. (Figura 1. Ubicación Geográfica de la Sede Principal y de Impresión de la Empresa Arte Didáctica S.A.S)

Arte Didáctica fabrica entre 10.000 y 35.000 unidades de cada uno de sus productos al mes, dentro de los cuales se encuentra vasos, juegos de mesa, cucharas, tenedores y productos de tarjetería y piñatería, que son distribuidos a nivel nacional. Debido al aumento en las cantidades de producción y por ende al incremento de los consumos hídricos y energéticos para cumplir con la demanda de la empresa, se hace necesario el planteamiento de estrategias que permitan disminuir dichos consumos, a través de una evaluación de la tendencia del consumo.

Dicho esto, el proyecto se realizará con el fin de evaluar los patrones de consumo hídrico y energético de la empresa Arte Didáctica S.A.S

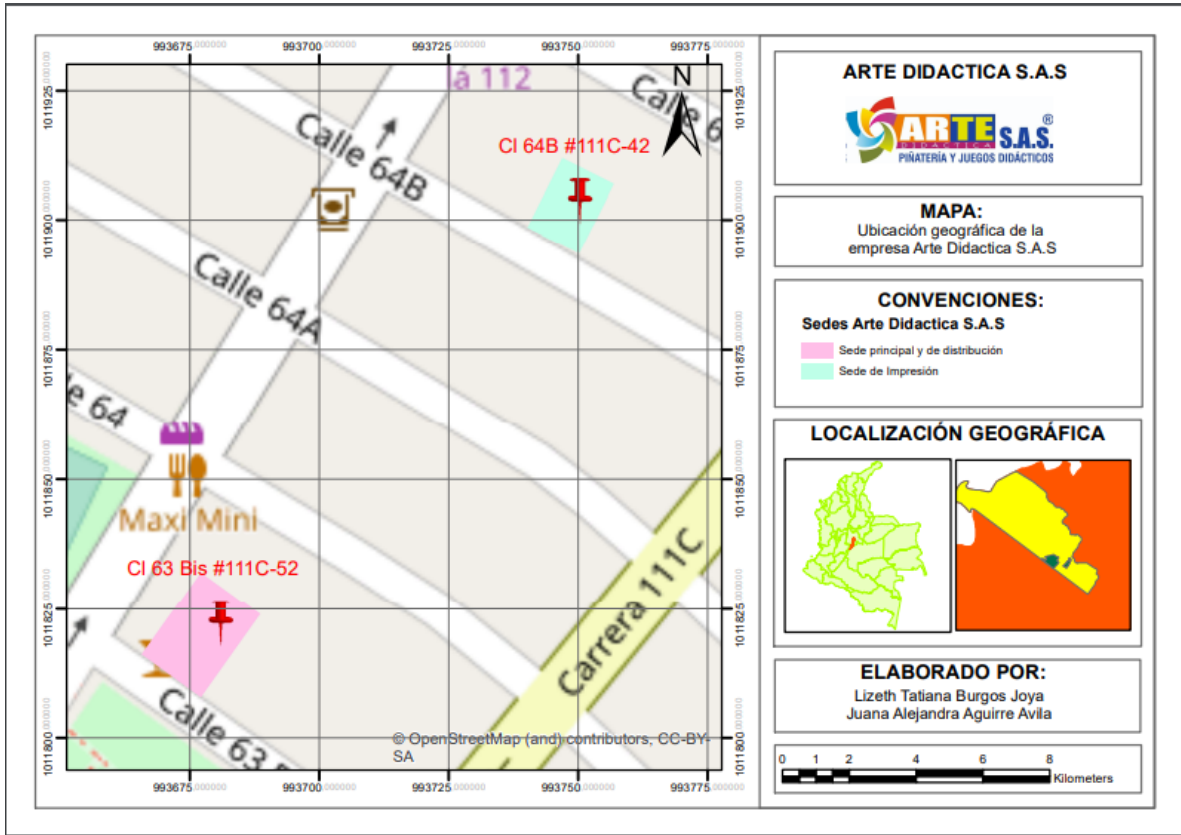


Figura 1. Ubicación Geográfica de la Sede Principal y de Impresión de la Empresa Arte Didáctica S.A.S

Fuente: [21]

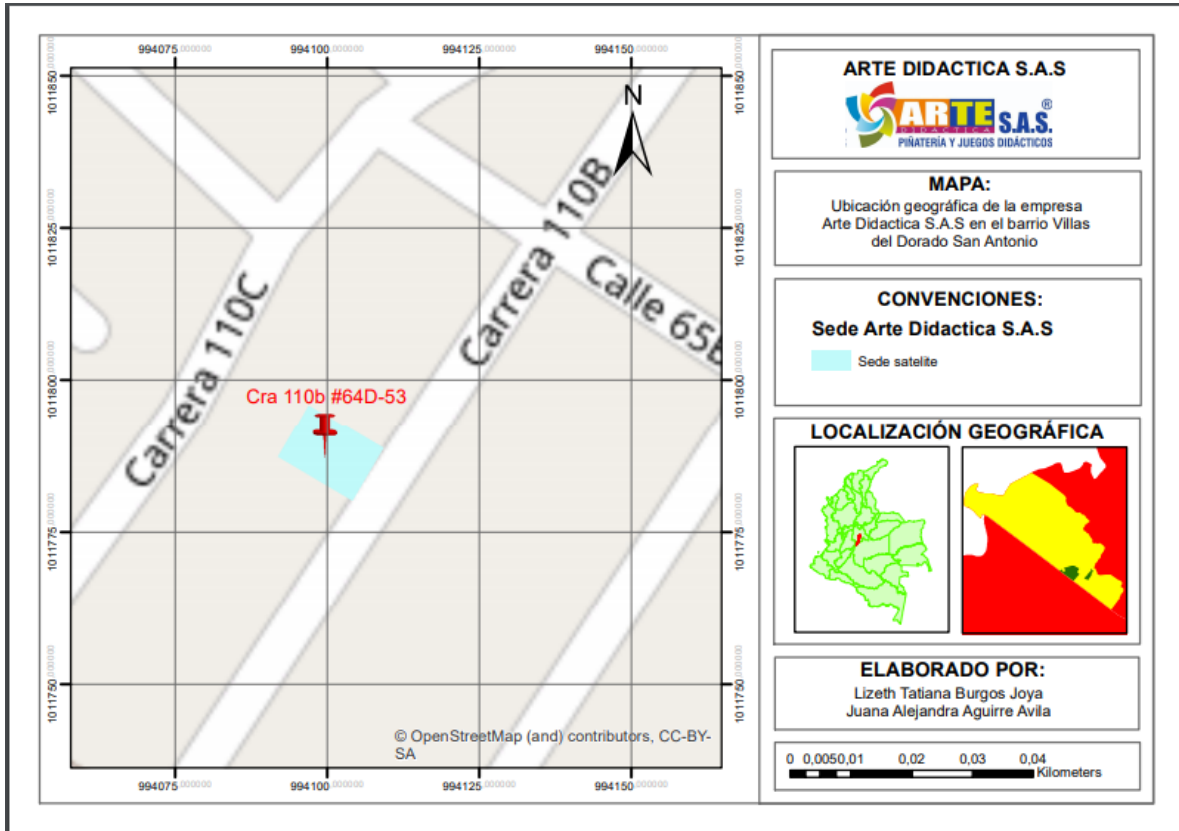


Figura 2. Ubicación Geográfica de la Sede Satélite de la Empresa Arte Didáctica S.A.S

Fuente: [21]

El tiempo estimado para el desarrollo de esta investigación serán 6 meses a partir de la fecha de obtención de los datos de las simulaciones y proyecciones, que nos permitan identificar las zonas de mayor consumo y de esta forma plantear una solución a través de planes estratégicos. Arte Didáctica S.A.S tomará la decisión de implementar los planes estratégicos formulados de acuerdo a su conveniencia.

7. MARCO REFERENCIAL

7.1. MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo, se integran una serie de investigaciones y revisiones bibliográficas con el fin de desarrollar y soportar la teoría que va a fundamentar la elaboración del presente estudio. A continuación, se realiza una relación entre los temas a abordar y el desarrollo del proyecto.

7.1.1. La Energía y sus Matrices a Escala Global y Nacional

El consumo de energía ha ido incrementando continuamente debido a los cambios de los hábitos de vida, la organización social y la industrialización que demanda cantidades de energía destinadas a los diferentes sectores de la economía, puesto que es una fuente esencial para el desarrollo y funcionamiento de los sectores económicos y por ende su crecimiento. Lo anterior, dado que es un servicio ofrecido para el desarrollo de los sectores residenciales, industriales, comercial y transporte. [22].

Las fuentes de energía se derivan en dos tipos: fuentes primarias donde encontramos los recursos aprovechables como los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), la energía nuclear y las fuentes renovables (solar, eólica, hidráulica, biomasa); y por otro lado las fuentes secundarias que traen consigo una transformación de producto de las primarias como la energía eléctrica, productos derivados del petróleo, GLP, entre otros.

7.1.1.1. Energía Eléctrica

La energía eléctrica es conocida como un fenómeno que se encuentra ligado a la materia, está integrado por electrones y partículas que giran alrededor de los núcleos atómicos. Siendo estas partículas las encargadas de producir los fenómenos electromagnéticos que hacen posible la generación de la energía eléctrica.

En este sentido, en los últimos años el ser humano ha generado una dependencia hacia este recurso debido que en la actualidad es indispensables en el sector industrial ya que la energía eléctrica representa aproximadamente un 30% del total de energía que se consume. La electricidad se utiliza, tanto como fuente impulsora de los motores eléctricos de las máquinas y aparatos propios de cada sector, como para calentar los contenidos de tanques, depósitos o calderas. Como en el sector doméstico, la electricidad es la principal fuente de iluminación y permite obtener calor y frío con equipos de climatización [23].

7.1.1.2. Matriz Energética Mundial

La matriz energética mundial se concentra en el uso fundamental de energías provenientes de combustibles fósiles, es decir, el Petróleo, Gas Natural y Carbón. El 85,5% del consumo mundial de energía proviene de las fuentes anteriormente mencionadas, mientras que el 4,5 proviene de energía nuclear, el 6,9 de la hidroelectricidad y el 3,2 de las fuentes renovables no convencionales [24].

Los países de la OECD consumen 2086.4 millones de toneladas de Petróleo; 1495.2 de Gas Natural; 913.3 de Carbón; 446.8 de Nuclear; 316.8 de Hidráulica y 2701 de

Energías Renovables. El consumo de gas natural en la Unión Europea creció en 7.1%, el más alto desde 2010. Por otro lado, solo el 3% del consumo global de energía primaria se originó en energías renovables.

La energía renovable (sin incluir la hidroeléctrica) creció en 14.1% en 2016, El consumo de energía hidroeléctrica creció en 2.8% y la generación de esta misma se incrementó en 2.8% [25].

7.1.1.3. Matriz Energética en Colombia

De acuerdo al último dato del índice de cobertura de Energía Eléctrica (ICEE) del año 2015, el 96,9% de la población en Colombia cuenta con energía eléctrica en sus hogares, en donde estas cadenas de energía eléctrica están organizadas por cuatro actividades: Generación, transmisión, distribución y comercialización. Estas dan lugar a la integración del Sistema Interconectado Nacional (SIN) que tiene como función principal transportar la energía desde el lugar que es generada, hasta el lugar del consumidor final. Sin embargo, existe y un 3.04% de la población en Colombia denominada (ZNI) Zonas no interconectadas debido a que no cuentan con acceso al SIN y su abastecimiento de energía es a través de plantas diésel, pequeñas centrales hidroeléctricas y paneles solares [26]. Por otro lado, la demanda energética en el país ha aumentado significativamente debido al crecimiento económico y la mejora de vida de los colombianos en donde el consumo experimento un crecimiento promedio de 4.5% anual desde el año 2010 al 2018.

La matriz de consumo energético en Colombia se compone en un 52% por la suma de gas natural, fuentes hídricas y renovables no convencionales, que representan

las fuentes energéticas más limpias. En este sentido la generación de energía está compuesta por un 0.1% de energía eólica que producen alrededor de 6.1% (19.5 Megavatios), 72% de fuentes hídricas que producen una capacidad de 11.606 Megavatios y 28% de térmicas que producen aproximadamente 19.8% (63.3 Megavatios) [27].

7.1.1.3.1. Hidroeléctricas

En Colombia, el agua es considerado el recurso más utilizado para la generación de energía eléctrica siendo las hidroeléctricas los proyectos con más demanda por parte de las empresas prestadoras de energía eléctrica en el país, el Banco Mundial señala:

“Si bien el desarrollo de la energía hidroeléctrica ofrece enormes oportunidades, también plantea desafíos y riesgos considerables que varían significativamente, según sea el tipo, la ubicación y la escala de los proyectos. Factores como el reasentamiento de las comunidades, la inundación de grandes superficies de tierras y los cambios importantes en los ecosistemas fluviales deben considerarse con atención, al tiempo que se mitigan los riesgos” (Banco Mundial, 2015, p.01) [28].

El crecimiento poblacional, un incremento en la electrificación rural y el aumento en el consumo de electricidad (que se estimó en 4,2% a nivel regional en 2011) son importantes factores para el desarrollo de la energía hidroeléctrica en Centroamérica.

Sin embargo, el funcionamiento de las centrales hidroeléctricas es cuestionado desde el punto de vista medioambiental puesto que, genera ciertos impactos

negativos en los recursos naturales aledaños presentando transformaciones de la fauna, la flora y el clima de la región, además de esto la calidad, fluidez y disponibilidad del recurso hídrico varía considerablemente y se ve contaminado por material orgánico [29].

Como se menciona anteriormente, la generación de energía hidroeléctrica genera riesgos considerables en material ambiental; en primer lugar, los proyectos hidroeléctricos cuentan con una variación en magnitud, extensión y posibilidad de revertir sus efectos ambientales y sociales adversos.

Los proyectos hidroeléctricos pueden dar como resultados caudales considerablemente reducidos a lo largo de varios kilómetros del cauce del río entre el sitio de derivación del agua. Estas reducciones en los caudales pueden hacer que el río no sea utilizable para transporte o recreación o pueden provocar mermas en las poblaciones de peces o de otras especies acuáticas. Por otro lado, las modificaciones a los caudales fluviales y la pérdida fluvial que ocurre como resultado del desarrollo hidroeléctrico (u otros factores) perturban los vínculos entre los caudales y la ecología, con consecuencias negativas para los ecosistemas de agua dulce comprometiendo la disponibilidad y calidad de los servicios de dichos ecosistemas.

Finalmente, las modificaciones a los caudales aguas abajo de las presas, en especial en el caso de proyectos de retención de gran capacidad, pueden afectar la calidad del agua y provocar que el agua de los ríos no sea utilizable para el quehacer humano [30].

No obstante, debido a la gran cantidad de agua, empiezan a presentarse varias y graves crisis puntuales por la insuficiente capacidad de abastecimiento, reducida notoriamente por el continuo deterioro de las cuencas hidrográficas como áreas de captación; además, la contaminación por residuos industriales, desechos sólidos y aguas servidas es motivo de preocupación en todo el mundo. La contaminación del agua la inutiliza para el consumo humano y otros usos relacionados con sus actividades productivas, afecta los ecosistemas naturales y la vida existente en ellos, pone en peligro la salud de los humanos y agrava los problemas económicos de la sociedad. Hasta hace pocos años la principal causa de contaminación eran los residuos orgánicos, a la cual se suman en la actualidad de una manera sustancial los sólidos en suspensión, desperdicios radioactivos, metales pesados y otros elementos y compuestos químicos resultantes de procesos industriales y actividades agrícolas sin control ambiental [31]

7.1.2. Programa de Aprovechamiento de Energías Alternativas

La Ley 697 de 2001, estableció el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) para asegurar un abastecimiento pleno y oportuno, así como la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no. De la misma forma, la misma ley creó el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de energía no convencionales (PROURE) (Congreso de la Republica de Bon Alemania, 2013). Por otra parte. el Artículo 19 de la Ley 1715 de 2014 El Gobierno Nacional a través de los ministerios de Minas y Energía, Vivienda y de Ambiente y Desarrollo Sostenible, da facultades para que se encarguen de fomentar el aprovechamiento

de la energía solar en proyectos urbanísticos a nivel nacional, en edificaciones, industrias, residencias y comercios; así como la reglamentación para la producción y participación de energía solar como fuente de generación [32].

7.1.2.1. Energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica se fundamenta principalmente en el fenómeno físico que convierte directamente la radiación solar (electromagnética) en corriente eléctrica, en un dispositivo llamado célula fotovoltaica. En este sentido, las células modernas están conformadas de materiales semiconductores que permiten que la energía ligue los electrones de valencia (electrones de la última capa) con su núcleo (de carga positiva); éste siendo un fenómeno similar a la energía de los fotones que forman la luz solar. De esta manera, al incidir ésta sobre el material semiconductor habitualmente el silicio, sus fotones suministran la cantidad de energía necesaria a los electrones de valencia con el fin de romper los enlaces y que queden libres para que puedan circular por el semiconductor, formando así una corriente eléctrica. Es por esta razón, que cuando una célula solar se conecta a una carga y es iluminada, se crea una diferencia de potencial a través de la carga y la corriente circulará saliendo de la célula por el terminal positivo y regresando por el negativo. Bajo estas condiciones, la célula funcionará como un generador de energía [33].

7.1.2.1.1. Elementos Esenciales del Sistema Fotovoltaico

Los elementos básicos para la creación de un sistema fotovoltaico están constituidos en tres (3) fases:

- 1) Generación: Es la encargada de transformar la energía solar en electricidad.
- 2) Almacenamiento: Es la denominada batería encargada de almacenar la electricidad producida por el panel solar.
- 3) Control: Su función principal es controlar el sistema fotovoltaico y monitorea su funcionamiento, normalmente se le denomina controlador de carga.

7.1.3. El Agua y sus Matrices a Nivel Global y Nacional

De acuerdo a las Naciones Unidas, el agua es considerado el epicentro del desarrollo sostenible y es parte fundamental del desarrollo económico, energético, para la producción de alimentos, ecosistemas y para la supervivencia de los seres humanos. En este sentido, el agua se ha convertido en un derecho importante, ya que a medida que crece la población mundial, así mismo incrementa la necesidad de conciliar la competencia entre las demandas comerciales de los recursos hídricos para que las comunidades logren satisfacer sus necesidades sin necesidad de estar deteriorando este recurso [34].

7.1.3.1. Recursos Hídricos

Los recursos hídricos son los depósitos e insumos de agua dulce que puede encontrarse en diferentes estados físicos y disponibilidad para satisfacer las necesidades del ser humano.

El agua cubre más del 70% de la superficie del planeta, se encuentra en océanos,

lagos, ríos, en el aire y en el suelo. Los océanos representan alrededor del 97,5 % del agua del planeta. Únicamente un 2,5% es agua dulce. Los glaciares, la nieve y el hielo de los cascos polares representan el 80% del agua dulce, el agua subterránea 19% y el agua de superficie accesible rápidamente sólo el 1%. Esta baja cantidad de agua de superficie fácilmente accesible se encuentra principalmente en lagos (52%) y humedales (38%). El agua es un recurso renovable pero finito. Se calcula que al año se evaporan aproximadamente 505.000 km³ de agua de los océanos. Sin embargo, la mayor parte se precipita nuevamente sobre los mismos océanos [35].

7.1.3.2. Matriz Hídrica Mundial

En los últimos años la demanda mundial de agua ha ido aumentando a un ritmo del 1% anual aproximadamente, este se encuentra ligado al aumento de la población, desarrollo económico y los cambios de los patrones de consumo. En donde, se necesitan cerca de 50 litros de agua por persona al día para garantizar que se satisfagan las necesidades básicas del individuo y mantener bajos los riesgos de salud pública. Sin embargo, esta cantidad es un indicativo que depende de diversos contextos ya que se puede requerir agua adicional debido a condiciones de salud, clima y trabajo [36].

Por esta razón, a nivel mundial las opciones más comunes para la recolección y el almacenamiento de agua superficial son: presas, embalses y otras estructuras de almacenamiento que operan a escala comunitaria o regional, pero también existen estructuras a menor escala adecuadas a las necesidades individuales o del hogar como lo son los pozos, estanques y acequias [36].

De esta manera, cabe señalar que las presas y los embalses, permiten obtener una reserva de agua para un uso posterior y en algunas ocasiones generar energía eléctrica y un nivel de protección contra precipitaciones extremas, es decir si se diseña una presa correctamente esta permite que el agua esté disponible en épocas de sequía [37].

Con base a ello la pre-Comisión Internacional de Grandes Presas indica que aproximadamente el 74% de todas las presas registradas 16 son de propósito único, de las cuales más o menos el 13% se utiliza para el suministro de agua y el 50% para el riego. Por otro lado, actualmente el almacenamiento de agua subterránea puede complementar la disponibilidad de agua superficial, principalmente en periodos de sequía. Además, de ser accesible directamente mediante pozos, los acuíferos pueden aumentar la disponibilidad de agua superficial a través de flujos laterales de agua subterránea en vías naturales [36].

Por esta razón, las aguas subterráneas a nivel mundial abastecen de agua potable por lo menos al 50% de la población mundial y representa el 43% de toda agua utilizada para el riego. Por consiguiente, más de 2.500 millones de personas depende de este recurso hídrico subterráneo para satisfacer las necesidades básicas diarias de agua [38].

7.1.3.3. Matriz Hídrica en Colombia

Colombia es uno de los países con mayor cantidad de recursos hídricos en el mundo ya que cuenta con alrededor de 6 tipos de aguas como lo son: aguas lluvias, aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas termo minerales, aguas marinas y oceánicas, aguas de alimentación glacial [39].

En donde el volumen total de precipitación en Colombia es de 3.700 Km³, es decir que el 61% se convierte en escorrentía superficial lo que equivale a un caudal medio de 71.800 m³/s, correspondiente a un volumen de 2.265 km³ al año. Este caudal fluye por las cinco áreas hidrográficas en las que se ha dividido el territorio nacional continental. La cuenca Magdalena - Cauca contribuye a este caudal total con el 13%. (9.500 m³/s), la Amazonía con 39% (27.830 m³/s, la Orinoquía con 27% (19.230 m³/s), el Caribe –incluida la cuenca del río Catatumbo– contribuye con el 8% y el Pacífico aporta el 13% (9629) m³/s. En este sentido, de acuerdo al Estudio Nacional del Agua 2010 seleccionaron lo siguientes sectores, intensivos o extensivos del uso del recurso hídrico; agua para uso humano o doméstico, agua en actividades industriales, agua en actividades de servicios, agua en el sector agrícola, agua en el sector pecuario y en acuicultura y agua en el sector energético. Concluyendo que la demanda hídrica nacional, con base a los datos obtenidos por cada sector incluso el agua extraída no consumida, alcanzó una magnitud de 35877 mm³. Por otro lado, se logró determinar que las ciudades como mayor demanda de agua domestica son Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla y Cartagena. En cuanto a la demanda agrícola los departamentos que mayor agua consumen son Tolima, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Huila, La Guajira, Nariño, Norte de Santander, Calle

del Cauca y por último la mayor demanda requerida para la industria proviene de Bogotá, Medellín y Cali [40].

Por otra parte, las aguas subterráneas en Colombia son utilizadas para abastecimiento domestico por la isla de San Andrés, las altas y media Guajira y por los departamentos de Sucre y Tolima; el Valle del cauca, La Sabana de Bogotá, el Urabá antioqueño, la zona bananera de Santa Marta y, Huila, lo utilizan para uso agrícola o industrial. No obstante, la mayor cantidad de captaciones en el país son por acuíferos someros, relacionados con valles de los ríos principales y son utilizados para el abastecimiento doméstico [40].

7.1.3.4. Sostenibilidad del Recurso Hídrico

A nivel mundial, la actividad humana y los factores naturales están agotando los recursos hídricos disponibles. Aunque en la última década la sociedad se ha ido concientizando de la necesidad de mejorar la gestión y la protección del agua, los criterios económicos y los factores políticos todavía tienden a dirigir todos los ámbitos de la política del agua. Los recursos hídricos se enfrentan a una multitud de amenazas graves, todas ellas originadas principalmente por las actividades humanas, como la contaminación, el cambio climático, el crecimiento; cada una de ellas tiene un impacto específico, por lo general directamente sobre los ecosistemas y, a su vez, sobre los recursos hídricos. El uso sostenible de los recursos hídricos supone un reto debido a los muchos factores que intervienen, como los cambios en el clima, la variabilidad natural de los recursos y la presión debida a las actividades humanas. La mala calidad del agua y el uso insostenible de los recursos hídricos

pueden limitar el desarrollo económico de un país, afectar a la salud de su población y repercutir en sus medios de subsistencia [41].

Dado lo anterior, en Colombia el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible desarrolló la Gestión integral de Recurso Hídricos a través de un proceso que tiene como objetivo la gestión y el aprovechamiento de los recursos hídricos. Esto con el fin de generar un equilibrio entre la parte social y económica sin generar afectaciones que comprometan los recursos [42].

7.1.4. Programa de aprovechamiento de Aguas Lluvia

Actualmente en Colombia se han ido implementado construcciones sostenibles ambientalmente, que tienen como objetivo el aprovechamiento del recurso hídrico, ya que traen consigo un beneficio económico al momento de reducir el consumo de dicho recurso. En este sentido, grandes infraestructuras han ido incorporando dentro de sus edificaciones estos sistemas para luego utilizar este recurso para el consumo humano y uso doméstico. Cabe señalar que estos sistemas tienen un valor agregado en las edificaciones ya que reducen el consumo del agua suministrada por el acueducto. Por esta razón, al momento de implementar un programa de aprovechamiento de aguas lluvia se deben tener en cuenta diversos factores, tales como la hidrología de la zona, tipo de edificación, área de captación y consumo [43]. De esta manera, se deben considerar los siguientes aspectos para el diseño del sistema de aprovechamiento de aguas lluvia (Figura 3. Proceso de Sistema de Recolección de Aguas Lluvias por Métodos de Canales de Cubiertas)



Figura 3. Proceso de Sistema de Recolección de Aguas Lluvias por Métodos de Canales de Cubiertas

Fuente: [43]

7.2. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se presenta una recopilación de los términos usados en el desarrollo de la presente investigación, con el fin de poner en contexto, aclarar los conceptos básicos y ampliar la información sobre el tema de estudio.

7.2.1. Modelos con Dinámica de Sistemas

Estos modelos son conocidos como herramientas que permiten incorporar técnicas de investigación operativa como lo es la programación lineal o cuadrática, modelos econométricos, técnicas de optimización entre otros. En donde estas herramientas permiten aprender a construir y simular modelos sencillos, permitiendo modelar y analizar los comportamientos temporales en entornos complejos.

Jay Forrester indica que estos modelos de simulación con Dinámica de Sistemas tienen aplicaciones en diversas áreas del conocimiento en donde esta herramienta ayuda a analizar y comparar los modelos acerca de cómo funcionan las cosas, también ayudan a tener una visión cualitativa sobre el funcionamiento de un sistema y las consecuencias de las posibles soluciones y por último reconoce arquetipos de sistemas disfuncionales en la práctica diaria.

Por otro lado, estos modelos permiten identificar las consecuencias a corto y mediano plazo ayudando a identificar y comprender los cambios generados en un sistema en determinado tiempo.

7.2.1.1. Dinámica de Sistemas

La Dinámica de Sistemas es una metodología para el análisis y resolución de problemas, desarrollada por Jay Forrester y presentada en sus obras (Forrester, 1999a; 1999b). En dinámica de sistemas, se concibe cualquier aspecto como la

interacción causal entre atributos que lo describen. De esta forma, se construyen representaciones sistémicas con flechas y puntos, denominadas diagramas causales que tienen el propósito de representar las hipótesis propuestas por el modelador [44].

7.2.1.2. Sistema

De esta forma, un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí de forma tal que un cambio en un elemento afecta al conjunto de todos ellos. Los elementos relacionados directa o indirectamente con el problema conforman el sistema. El sistema debe contener el menor número de elementos posibles, que nos permita realizar una simulación para explicar al final cuál de las hipótesis o escenarios es más eficaz para dar solución al problema planteado [45].

7.2.1.3. Sistemas Dinámicos

De igual forma, es importante definir que los sistemas dinámicos es un concepto que tiene origen en el análisis matemático, a través de estos pueden analizarse como el cambio de una parte del sistema puede afectar el comportamiento del sistema completo. La evolución de los sistemas dinámicos describe como el estado futuro depende del estado actual, es decir, es un proceso que depende del tiempo y sus variables [46].

El desarrollo de la metodología de Dinámica de Sistemas se centra en el diseño de diagramas que permitan, evidenciar y evaluar el comportamiento del sistema y la influencia de las variables del entorno, sobre el mismo.

7.2.1.4. Diagrama Causal

En primer lugar, el diagrama causal o de influencia es la primera etapa para la

elaboración de un modelo mediante la metodología de Dinámica de Sistemas, este permite simplificar la ilustración del sistema y las variables que pueden ser niveles, flujos y variables auxiliares [46]. Este tipo de diagrama recoge los elementos clave del Sistema y las relaciones entre ellos; estas relaciones están representadas por flechas entre las variables afectadas por ella. Dichas flechas van acompañadas de un signo (+ o -) que indican el tipo de influencia ejercida por una variable sobre la otra [45].

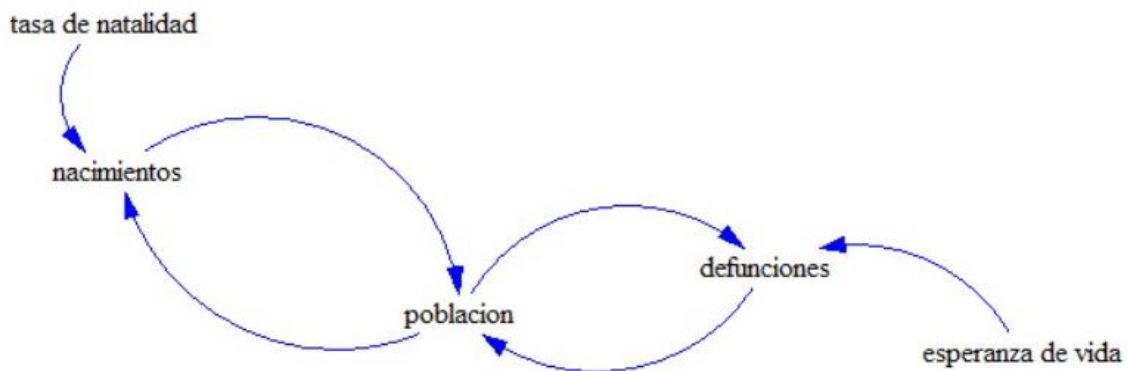


Figura 4. Diagrama Causal de Dinámica de Sistemas

Fuente: [47]

7.2.1.5. Diagrama de Forrester

El Diagrama de Forrester, es un diagrama de flujo generado a partir del Diagrama Causal que permite, que el modelo pueda ser implementado en un ordenador para su posterior simulación [46]. Los diagramas de Forrester usan una serie de símbolos como: nube, nivel o estado, flujo, canal de material, canal de información, variable auxiliar, constante, retraso y variable exógena [48].

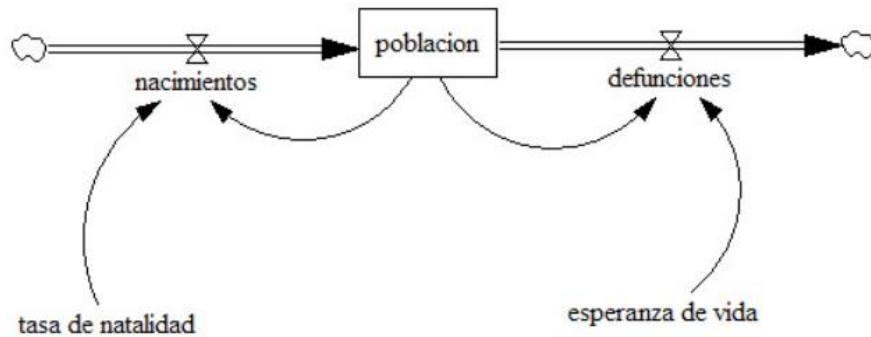


Figura 5. Diagrama de Forrester de Dinámica de Sistemas

Fuente: [47]

7.2.2. Herramientas de modelación y simulación en Dinámica de Sistemas

La simulación es un proceso que permite entender una serie de sistemas complejos mediante la construcción de modelos virtuales, denominados micromundos los cuales realizan interferencias sobre el comportamiento de un sistema real. En donde, la Dinámica de Sistemas es uno de los métodos que facilitan la comprensión de los sistemas en el tiempo, de igual forma analiza las relaciones que tienen las variables que se explican a través de la formación de ciclos de realimentación [49].


En la actualidad existen herramientas computacionales que permiten apoyar el proceso de modelado y simulación con Dinámica de Sistemas. Estas herramientas han posibilitado el uso y la difusión de la Dinámica de Sistemas en sectores como educación, investigación, empresarial, ambiental, social, entre otros.


De esta forma, es importante hacer mención e identificar algunas de las herramientas planteadas para el desarrollo del proceso de Dinámica de Sistemas,


y definir la herramienta más adecuada para el desarrollo de la presente investigación.


De acuerdo a ello, en la Tabla 1. Comparación de herramientas software para el modelado y simulación con Dinámica de Sistemas se define las características principales de los softwares más utilizados, lo que permitirá determinar las condiciones más óptimas de la herramienta que será utilizada en el desarrollo del proyecto.

Tabla 1. Comparación de herramientas software para el modelado y simulación con Dinámica de Sistemas

Software	Organización	Diagrama influencias	Diagrama de Flujo- Nivel	Simulación	Herramientas de análisis
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Versión: Profesional Edition 6.5.0</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">ANYLOGIC</p>	<p>XJ Technologies Company (Rusia)</p> 	<p>No</p>	<p>Permite dibujar diagramas de flujo y nivel usando elementos como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stock • Flujo • Variable Auxiliar • Parámetro • Conector <p>Función Tabla</p>	<p>Soporta formas de resultaos mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diagrama de Gantt • Histograma • Estadísticas • Gráfico 	<ul style="list-style-type: none"> • Compara resultados de simulación de diferentes parámetros • Explora que tan sensibles son los resultados a una variación de los parámetros del modelo. • Ajusta los parámetros del modelo para que el comportamiento en condiciones particulares coincida con un patrón observado. • Desarrolla su escenario.

Software	Organización	Diagrama influencias	Diagrama de Flujo-Nivel	Simulación	Herramientas de análisis
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Versión: 4.0</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">EVOLUCIÓN</p>	<p style="text-align: center;">Grupo SIMON de investigación en Modelamiento y Simulación (Colombia)</p> 	<p>Cuenta con Diagrama de Influencias con diferentes vistas y elementos como ciclos, clones, sectores y relaciones de material o de información entre ellos. Permite generar un bosquejo del Diagrama de Flujo Nivel</p>	<p>Cuenta con un Editor de Diagrama de Flujo Nivel, que comprende diferentes herramientas y elementos para formar el diagrama y crear el modelo de simulación</p>	<p>Presenta los resultados de simulación en forma de gráficos en 2D y 3D, tablas y gráficos con animadores.</p>	<p>Realiza el análisis de sensibilidad de dos formas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variación de Escenarios: donde se selecciona el elemento a analizar y se manipulan los escenarios existentes para el modelo. <p>Variación de Parámetros: define el comportamiento de la variable a analizar, al modificar el valor de unos de los parámetros del modelo.</p>

Software	Organización	Diagrama influencias	Diagrama de Flujo-Nivel	Simulación	Herramientas de análisis
<p>Stella</p> <p>Versión: 9.1.4</p>	<p>Isee Systems (Estados Unidos)</p> 	<p>Creación de diagramas de ciclos causales así:</p> <p>Híbridos: comunican los bucles de retroalimentación en un modelo</p> <p>Regulares: para crear mapas de relaciones causales de alto nivel, mostrando flechas</p>	<p>Elabora modelos dinámicos que simulan sistemas experimentales con los elementos del diagrama de flujo-nivel como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stocks que recogen los flujos que llegan y salen de ellos. • Flujos que permiten llenar y 	<p>Presenta los resultados a través de tablas, gráficas, animaciones, y archivos que pueden ser agregados del modelo o se pueden crear interfaces para interactuar con la simulación a través de controles como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulador, lista, botón y gráfico de 	<p>El análisis de Sensibilidad revela puntos de apalancamiento claves y condiciones óptimas del modelo.</p>

		que indican la dirección de causalidad.	vaciar las acumulaciones	dispositivos de entrada.	
Software	Organización	Diagrama influencias	Diagrama de Flujo-Nivel	Simulación	Herramientas de análisis
<p>Version: STUDIO 8</p> <p>POWERSIM</p>	<p>Powersin Software AS (Noruega)</p> 	<p>Se puede realizar, con etiquetas de textos y líneas pero que no se conectan entre si (no es propiamente un modelo sino un dibujo).</p>	<p>Permite elaborar modelos con los elementos propios del Diagrama de Flujo-Nivel, entre ellos incluye los elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nivel • Flujo continuo y discreto • Constante • Enlace 	<p>Plasma la presentación de resultados de las siguientes formas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gráficas de tiempo • Tablas de tiempos • Gráficos • Gráficos de dispersión • Tablas • Indicadores • Deslizador 	<p>Posee varias herramientas de análisis para estudiar y mejorar el comportamiento de la dinámica de los modelos, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de riesgo • Control de escenarios • Optimización de políticas • Gestión de riesgos.

			<ul style="list-style-type: none"> • Auxiliar • Snapshot • Submodelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Switch 	
Software	Organización	Diagrama influencias	Diagrama de Flujo-Nivel	Simulación	Herramientas de análisis

VENSIM

Ventana System Inc
(Estados Unidos)



Se pueden dibujar los elementos pertenecientes al Diagrama de Influencias, con sus variables, relaciones de influencia, bucles de realimentación y signos de polaridad. Se pueden imprimir y exportar los esquemas para su uso en otras aplicaciones

Posee una zona de dibujo con los elementos para el diagrama de flujo-nivel como: nivel, flujo, variable auxiliar, constante, flechas. La norma para los esquemas es mostrar los niveles (acumulaciones) como una caja, con el nombre dentro de la caja. Los flujos se muestran con el nombre de la válvula

Presenta los resultados de la simulación de las siguientes formas:

- Gráficos
- Tablas de Tiempos
- Tira de causas

Presenta herramientas de análisis como:

- Diagramas de Árbol de Causas y Usos: para investigar la estructura del modelo
- Gráfico y Tabla: muestran el comportamiento de las variables.
- Tira de causas: determina que porciones del modelo causan un determinado comportamiento
- Comparación de simulaciones: muestra las diferencias en constantes y funciones gráficas.

			<p>de forma explícita.</p> <p>Las variables auxiliares, las constantes, tablas, datos variables, entre otros, se muestran solo con su nombre</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de Sensibilidad: realiza miles de simulaciones de Montecarlo con las constantes modificadas a lo largo de un rango de valores y guarda los resultados para un análisis posterior.
--	--	--	--	--	---

Fuente: [50]

De acuerdo a la comparación entre los programas más utilizados para procesos de simulación, para el desarrollo de este proyecto se establece trabajar con el programa Vensim. Dado que este software es el más completo y versátil que existe en la creación de modelos de Dinámica de Sistemas. Teniendo la particularidad de dibujar diagramas causales y hacer modelos en todos los ámbitos: economía, empresas, medio ambiente, social, sanidad, seguridad, etc. Por otro lado, su interfaz es gráfica, muy clara y visual, lo que facilita construir tanto modelos sencillos como de gran complejidad.

Un aspecto muy importante, es la utilización de la versión gratuita (Vensim PLE), versión utilizada para desarrollo de la investigación, ya que incluye la mayoría de funciones del software, como la de creación de tablas y gestión de retrasos temporales. [51]

Finalmente, es importante destacar que, el programa Vensim es actualmente el programa más versátil, intuitivo y sencillo para construir y simular modelos dinámicos. Puesto que, permite construir modelos a través de diagramas causales o en versión texto, y en cualquiera de las dos modalidades permite comparar fácilmente los resultados de los experimentos, superponer gráficos de distintas variables, cambiar escalas, periodos de estudio, etc. Vensim permite realizar utilidades avanzadas, como son el calibrado de parámetros, análisis de sensibilidad, optimización de funciones y valoración de decisiones a través de juegos interactivos entre otras posibilidades. [52]

7.2.2.1. Vensim

Vensim es una herramienta visual de modelaje que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de dinámica de sistemas. Provee una forma simple y flexible de construir modelos de simulación, sean lazos causales o diagramas de stock y de flujo. Mediante la conexión de palabras con flechas, las relaciones entre las variables del sistema son ingresadas y registradas como conexiones causales. Esta información es usada por el Editor de Ecuaciones para

completar su modelo de simulación. Se puede analizar el modelo siguiendo el proceso de construcción, mirando las causas y el uso de las variables y también siguiendo los lazos relacionados con una variable. Cuando construye un modelo que puede ser simulado, Vensim le permite explorar el comportamiento del modelo [53].

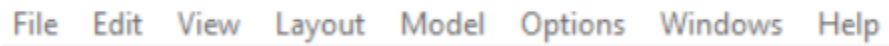
Dicho software permite la construcción de modelos, el cual tiene en cuenta las técnicas de la dinámica de sistemas, que funciona bajo el sistema operativo de Windows, y también ordenador Macintosh. Está potenciado con diversas herramientas que facilitan la creación del modelo, su ejecución, análisis y mantenimiento, como son la pizarra para dibujar el diagrama causal, las distintas opciones de importación y exportación de datos y resultados, a través de ficheros lotus, Excel y de texto. El editor de ecuaciones que ayuda a completar las relaciones matemáticas entre variables. Se dispone de varias opciones de simulación, optimización, análisis de sensibilidad y de contraste con la realidad, filtrado de Kalman, presentación gráfica y numérica de resultados. Incluye un potente generador de aplicaciones, que mediante un software adicional permite distribuir cuantas copias se precise del modelo convertido en un ejecutable autónomo [54].

7.2.2.2. Herramientas del Software Vensim

Vensim es un software que cuenta con un espacio de trabajo llamado área de dibujo y con una serie de herramientas como lo son: el menú, la barra de herramientas principal, la barra de herramientas de Análisis, la barra de herramientas de dibujo y la barra de formato.

Menú

En esta herramienta se pueden realizar diversas funciones las cuales se pueden evidenciar a continuación:



File Edit View Layout Model Options Windows Help

Figura 6. Menú de Vensim

Fuente: [55]

- **File:** Contiene funciones comunes a cualquier aplicación Windows ya sea para abrir el modelo, guardar, imprimir entre otras.
- **Edit:** Permite copiar y pegar las partes seleccionadas en el modelo, por otro lado, puede buscar diversas variables en el modelo.
- **View:** Permite manipular el dibujo
- **Layout:** Permite manipular la posición y tamaño de los elementos del dibujo
- **Model:** Genera el acceso al control de la simulación, diálogos de límites de tiempo, a las características de comprobación del modelo y a la exportación e importación de los grupos de datos.
- **Options:** Permite modificar las diversas opciones globales del modelo.
- **Windows:** Permite el acceso a diferentes ventanas abiertas.
- **Help:** Brinda el servicio del sistema de ayuda en línea.

Barra de herramientas principal

Esta barra contiene las herramientas principales para la elaboración de las simulaciones.

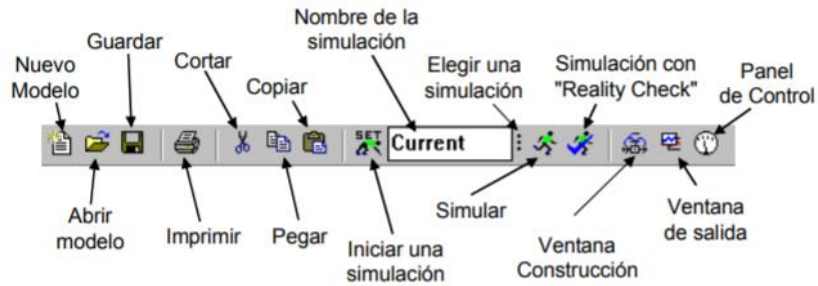


Figura 7.Barra de Herramientas Principal de Vensim

Fuente: [55]

- **Iniciar una simulación:** Se selecciona el método de integración que se desea utilizar para realizar el modelo de simulación.
- **Nombre de la simulación:** Nombre destinado a cada modelo de simulación.
- **Elegir una simulación:** Selecciona la simulación para analizarla o sobrescribir los valores que contenga la base de datos.
- **Panel de control:** Configura los diferentes funcionamientos de vensim, entre ellas son: eje temporal, base de datos, gráficos.

Barra de herramientas de dibujo

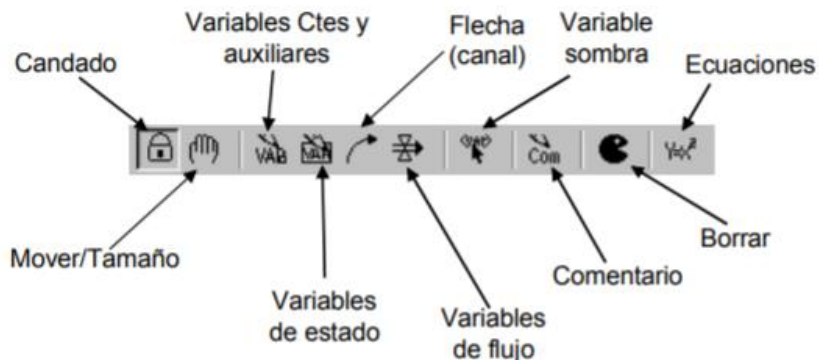


Figura 8.Barra de Herramientas de Dibujo de Vensim

Fuente: [55]

- **Candado:** En esta opción el dibujo se encuentra bloqueado. Se pueden seleccionar objetos de dibujos y variables del área de trabajos, pero no se pueden mover estos objetos.
- **Mover:** Permite mover, seleccionar y cambiar el tamaño de los objetos de dibujo.
- **Variables constantes y auxiliares:** Una variable auxiliar hace referencia a cualquier expresión definida en términos de los parámetros de los controles de otras auxiliares que aparezca en x o y [56]. Por otro lado, una variable constante son datos o valores cuyo valor no puede cambiar durante la ejecución del programa.
- **Variables de sombra:** Con el fin de permitir cambios interactivos en el valor de los parámetros del modelo físico, se definen estos como variables dinámicas en donde su derivada en todo momento es igual a cero y se seleccionan como variables de estado del modelo. En este sentido, estas variables de estado solo cambian cuando ocurren eventos interactivos de esta manera manteniendo constante el resto del tiempo. [57].
- **Flecha (canal):** Su función principal es introducir mediante flechas las relaciones entre las distintas variables del modelo.
- **Variables de flujo:** Sirve para generar las variables de flujo y dibujar los canales entre las variables de estado y si es el caso con las fuentes y los sumideros (nubes).
- **Variable sombra:** Se utiliza para generar una variable al modelo sin introducir sus causas.

Barra de herramientas de análisis

Los elementos que contiene la barra de análisis son muy importantes ya que muestran la información de cada una de las variables seleccionadas. Sin embargo, depende de la información seleccionada se podrá obtener información gráfica o textual del modelo.

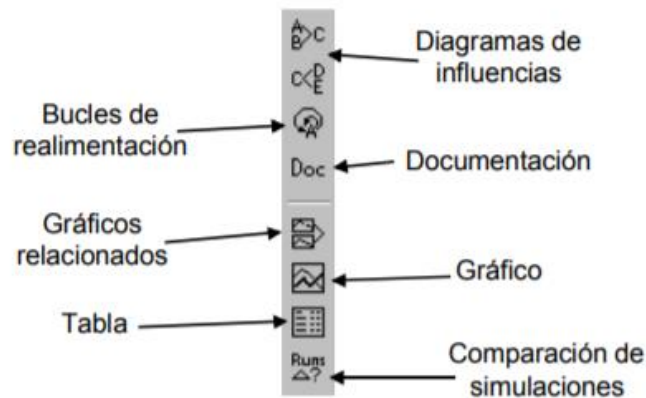


Figura 9. Barra de Herramientas de Análisis de Vensim

Fuente: [55]

- **Diagramas de influencia:** muestra la representación de las influencias que afectan o alteran las variables o de las influencias de las variables a las que afecta la variable que se selecciona.
- **Bubles de realimentación:** Evidencia la lista de los bucles de realimentación que contiene las variables de estado.
- **Documentación:** Muestra la información textual del modelo realizado.
- **Gráficos relacionados:** Muestra la evolución temporal de las variables que están relacionadas con la variable seleccionada.
- **Gráfico:** Muestra las gráficas de cada una de las variables seleccionada.
- **Tabla:** Crea una tabla de valores de la variable seleccionada.

Comparación de simulaciones: Comprara dos simulaciones identificando las diferencias entre los valores y parámetros utilizados.

7.2.2.3. Funciones del Software

De acuerdo a lo anteriormente mencionado Vensim permite a través de sus herramientas crear diversos entornos desde sistemas físicos a sistemas relativos ya sea en ámbitos sociales o ambientales. Los modelos que se pueden generar en Vensim están constituidos a partir de la siguiente metodología:

Creación de Diagrama Causales: Estos permiten comprender el tema analizado, definir los elementos que intervienen en el sistema y exponer de una forma sencilla la estructura del modelo, el origen del comportamiento que se observa y como las acciones propuestas can a incidir en la solución o mejora del problema analizado [58].

Creación de Modelos: Vensim personaliza los diagramas ya sean los colores, tipo de letra, símbolos, flechas y conexiones. Se pueden usar círculos, hexágonos y otras formas geométricas. Por otro lado, permite al editor definir las ecuaciones del modelo de simulación. También se pueden crear y simular múltiples de variables. En este sentido, Vensim contiene muchas funciones como lo son búsquedas, patrones de prueba de entrada, operadores lógicos, generadores de números aleatorios, retrasos continuos y discretos, funciones de alisado o retraso y previsiones, además permite usar funciones y macros propias de Vensim personalizadas, así como funciones externas [58].

Árbol de causalidad: Permite analizar las causas, efectos y el comportamiento de una variable en todo el modelo. Mediante esta función se puede visualizar la estructura del modelo y su comportamiento se muestra con gráficos de líneas. Se puede realizar y guardar múltiples simulaciones para hacer una comparación de los comportamientos resultantes de diferentes hipótesis [58].

Simulaciones: Vensim es una herramienta muy eficiente a la hora de generar simulaciones debido a que permite el uso de grandes bases de datos. En este sentido el modo de simulación de juego permite realizar simulaciones periodo a periodo con intervalos discretos, sin embargo, se pueden realizar cambios en las variables del modelo para cada periodo. Por otro lado, cabe señalar que Vensim permite utilizar datos externos como entradas exógenas para ser usados en un modelo que permita comparar los datos obtenidos en la simulación. De igual forma, se pueden crear datos externos en los editores de texto, o importar desde (o exportar a) las aplicaciones de bases de datos y hojas de cálculo [58].

Importación y exportación de datos: Permite importar datos al modelo y exportar los resultados. De esta forma es posible guardar los resultados de una simulación a una hoja Excel o incluso importar datos para alimentar el modelo desde hojas Excel. Esta función aumenta la velocidad de cálculo del modelo, dado que, si se modifican los datos de entrada desde el Excel, los cambios se incorporan directamente al modelo sin modificar las ecuaciones [58].

Análisis de Sensibilidad: Estos análisis permiten determinar el grado de influencia de cada una de las variables y su influencia en el sistema global. Por esta razón, se asigna un determinado tipo de distribución de probabilidad a las variables con el objetivo de determinar la evolución y el grado de variación que se tiene entre variables. En este sentido, los tipos de probabilidad utilizados son: normal, uniforme, triangular, poisson, weibull entre otras. Los resultados obtenidos se pueden evidenciar en los formatos gráficos con los límites de confianza [58].

Validación: Vensim cuenta con la prestación Reality Check, que permite validar si las variables del modelo cumplen con las condiciones lógicas definidas. Esta prestación proporciona un seguimiento de las variables, teniendo en cuenta un comportamiento razonable en todo momento y alerta cuando alguna de ellas incumple con las reglas o condiciones definidas [58].

Error relativo: Se conoce como el cociente entre el error absoluto y el valor que se considera como exacto y este puede ser positivo como negativo ya que se puede producir por exceso o por defecto; el error relativo no tiene unidades y se expresa de la forma:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_a}{X} \cdot 100\%$$

Ecuación 1. Error relativo para la validación del Sistema

Cabe señalar que el error relativo tiene como objetivo ser un indicador de la calidad de una medida; es decir, que cuando se realiza una medición se considera que la calidad es mucho mayor o más eficiente cuanto más pequeño es el error relativo que se obtiene [59].

7.2.3. Desarrollo Sostenible

La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo definió al desarrollo sostenible como “un desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades”. En este sentido, es importante satisfacer las necesidades sin comprometer la capacidad y el derecho que tienen las generaciones futuras.

El Desarrollo Sostenible pretende comprender las interacciones entre tres sistemas complejos: la economía mundial, la sociedad global y el medio ambiente físico de la Tierra. Implica también, un enfoque normativo sobre el planeta, en el sentido que recomienda una serie de objetivos (Objetivos de Desarrollo Sostenible) como guía para el desarrollo futuro de la economía y la sociedad en el planeta [60].

7.2.3.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada por la ONU, es un plan de acción para las personas, el planeta y la prosperidad, en el cual se plantean los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible). Estos son de carácter mundial y son universalmente aplicables teniendo en cuentas las capacidades y niveles de desarrollo nacionales y respetando las prioridades nacionales [61]. A continuación, se establecen los 17 ODS (Figura 10. Objetivos de Desarrollo Sostenible) planteados por la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible:

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Figura 10. Objetivos de Desarrollo Sostenible
Fuente: [62]

7.2.3.2. Crecimiento Verde

En el mismo sentido, es importante hablar sobre el Crecimiento Verde, el cual es considerado como una vía para el desarrollo sostenible. Según la OCDE en 2012 el crecimiento verde es una estrategia de crecimiento y desarrollo económico que busca asegurar que los activos naturales continúen proveyendo los bienes y servicios que son necesarios para el bienestar humano. Éste tiene un enfoque más preciso y especifica una agenda de política para lograr avances concretos y medibles respecto a la interrelación entre la economía y el medio ambiente [63].

7.2.3.2.1. Política de Crecimiento Verde en Colombia

En Colombia se crea la Política de Crecimiento Verde, cuyo objetivo es impulsar a 2030 el aumento de la productividad y la competitividad económica del país, al mismo tiempo asegura el uso sostenible del capital natural y la inclusión social. Esta

Política fue aprobada mediante el COMPES 3934 de 2018 [64].

La política reconoce la necesidad de incrementar y diversificar la economía para lograr los objetivos en materia de desarrollo y la superación nacional de pobreza, desigualdad y equidad social. Para ello, busca avanzar hacia la generación de nuevas fuentes de crecimiento basadas en el uso sostenible del capital natural, así como mejorar la eficiencia en el uso de los recursos por parte de los procesos productivos de todos los sectores de la economía. Sin embargo, la política no prioriza o limita el desarrollo de los sectores económicos, sino que busca potencializar sus oportunidades para ser más eficientes, competitivos y sostenibles, de tal manera que, implementen los mejores estándares en términos productivos, ambientales y sociales [65].

7.2.3.2.2. Política de Energías Renovable en Colombia

La utilización de energías renovables es una de las formas más eficientes de producir energía eléctrica. Esta eficiencia se debe tanto al uso de recursos inagotables (Sol) que relativiza la incidencia del rendimiento de las instalaciones, como a la posibilidad de generación distribuida evitando pérdidas en transporte y distribución de energía eléctrica [66].

La energía solar FV es una excelente solución de Uso Eficiente de Energía, ya que es, de fácil instalación y operación (Zonas aisladas), su fuente de generación es inagotable (Sol), se cuenta con buen recurso solar y es amigable con el medio ambiente. Además de que los sistemas fotovoltaicos son de fácil instalación y sus

costos tienden a disminuir, es decir: necesitan poco mantenimiento, presentan larga vida útil y el costo de las celdas solares cada vez es menor [67].

Debido a su posición geográfica Colombia posee ventajas estratégicas en el mercado de la energía, principalmente por su alta biodiversidad y los recursos naturales, lo que permite la explotación de estos recursos en un marco de alta calidad. Dado ello, cuenta con un potencial positivo de energía solar fotovoltaica frente al resto del mundo. [68]

En base a lo anterior, en los últimos años se han desarrollado lineamientos en política ambiental y energética, a través del uso racional y eficiente de la energía eléctrica; donde se han establecido principios e incentivos para permitir la adopción de programas de energía renovable y la diversificación de la matriz energética en el país. [69]

7.2.3.2.3. Política de Uso Eficiente y Ahorro del Agua

El uso eficiente y ahorro del agua se ha convertido en una necesidad crucial para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, considerándolo como un “recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el ambiente”, el uso eficiente del agua implica entre otros, caracterizar la demanda del agua (cualificar y cuantificar) por parte de los diferentes usuarios y analizar los hábitos de consumo para emprender acciones dirigidas hacia cambios que optimicen su uso, así como a la promoción de prácticas que permitan favorecer la sostenibilidad de los ecosistemas y la reducción de la contaminación [70].

De esta forma el aprovechamiento del agua lluvia se ha convertido en un plan de gestión y uso eficiente del agua, puesto que, la posición geográfica colombiana es

estratégica para la implementación de sistemas con aprovechamiento de aguas lluvias ya que por encontrarse en la línea ecuatorial es privilegiada en producción de agua, (entre 500 y 5.000 milímetros anuales dependiendo de la región), lo que indica que se podrían recoger hasta 5.000 litros por metro cuadrado cada año. Sin embargo, la normatividad colombiana aún no precisa la regulación respecto a los sistemas hidrosanitarios que incorporan el aprovechamiento de aguas lluvias, a la fecha, son pocos los proyectos de gran escala a nivel urbano que han implementado este sistema y algunos de ellos han recibido certificaciones internacionales por el uso eficiente del agua en su interior [71].

7.2.4. Producción Mas Limpia (PML)

La producción más limpia propone la implementación de estrategias preventivas aplicadas a productos o servicios con el fin de mitigar riesgos ambientales y afectaciones a la salud humana, así como también promueve la optimización de recursos, materias primas y costos [72].

Esta se soporta en herramientas que apoyan el sistema ambiental de la empresa, proporcionando técnicas e información que permite definir el estado ambiental de un proceso, tomar decisiones con base en ello, implementar cambios necesarios y verificar los resultados. Las herramientas de producción más limpia permiten determinar el estado ambiental y económico de un producto, proceso o servicio con el fin de establecer las opciones de mejora preventiva a implementar en una organización. [73]

Las herramientas de la PML se clasifican de acuerdo al propósito y al tipo de información que suministran; podemos encontrar: la revisión inicial ambiental, los ecomapas y los ecobalances, buenas prácticas de manufactura, las ecoetiquetas,

las auditorías ambientales, los costos de ineficiencia y la contabilidad ambiental, entre otras [74].

7.2.4.1. Ecomapas

Un Ecomapa es una herramienta de diagnóstico que permite realizar un inventario rápido de prácticas y problemáticas de múltiples variables mediante el uso de figuras (Figura 11. Ilustración de un Ecomapa Nivel de Producción). Por medio de este, se pueden identificar los puntos de consumos, procesos de mayor consumo, malas prácticas, áreas de ahorro, entre otros factores dependiendo de la función que se le dé al Ecomapa [75].

Se fundamenta en la recolección de información, no sólo de la ubicación de los diferentes focos que puedan generar contaminación, sino también de aquellos sectores que estén ubicados en puntos de alto riesgo de contaminación. En cada uno de estos mapas se identifican entradas, salidas y posibles peligros potenciales y si existe un problema de particular interés, se elabora un mapa específico para este problema. [76] De esta forma, existen diferentes Ecomapas dependiendo del recurso estudiado; entre los principales están:

* Mapa del vecindario

*Mapa de Agua

*Mapa de Desechos

*Mapa de Energía

También, funciona como una herramienta de identificación y localización de áreas o puntos críticos o de alto riesgo de contaminación, visualizadas mediante el uso de planos que contienen en general todas las instalaciones del establecimiento [77]

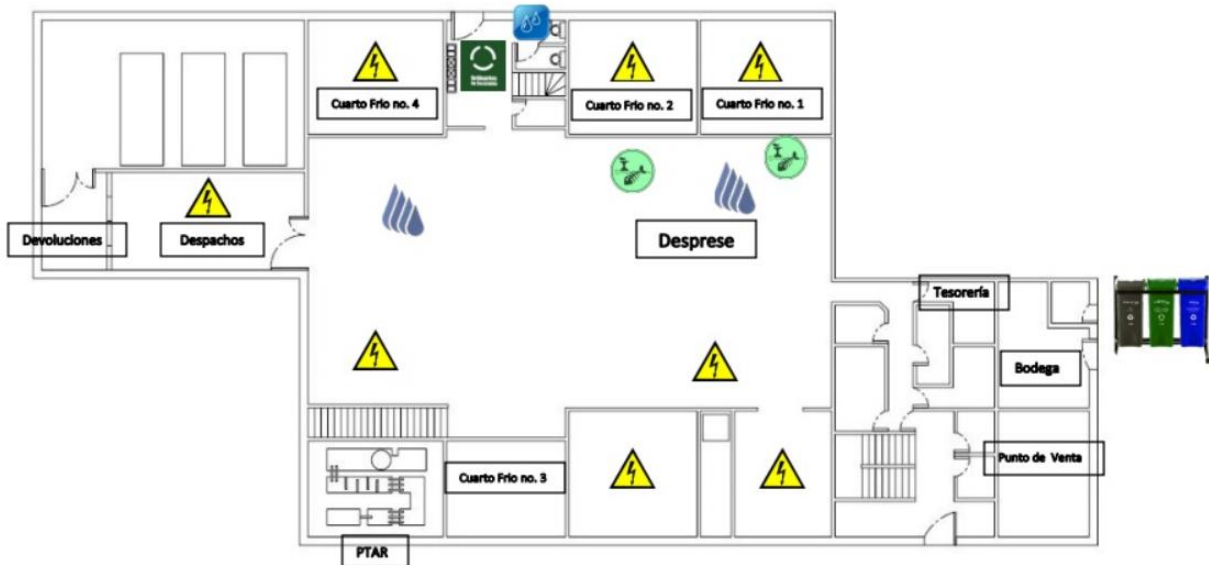


Figura 11. Ilustración de un Ecomapa Nivel de Producción

Fuente: [78]

7.2.4.2. Matriz DOFA

Es una herramienta que permite identificar Debilidades y Fortalezas de la institución, y Oportunidades y Amenazas en el servicio. Esta matriz se puede desarrollar por componente o aspecto ambiental, por áreas o servicios, o también a nivel general para toda la institución [77].

Para el desarrollo de esta herramienta, en primer lugar, se identifican los cuatro componentes de la matriz, divididos en los aspectos internos que corresponden a las fortalezas y las debilidades, y los aspectos externos o del contexto en el que se desenvuelve la organización que corresponden a las oportunidades y las amenazas. [79]

8. MARCO LEGAL

En el siguiente capítulo se identifica la normatividad vigente relacionada con el uso, consumo y eficiencia del sistema de recurso hídrico y energético colombiano:

Tabla 2. Normatividad vigente que rige el proyecto.

NORMA	DESCRIPCIÓN
Decreto 2105 de 1983	Reglamenta parcialmente la Ley 09 de 1979, sobre potabilización y suministro de agua para consumo humano
Ley 99 de 1993 Gobierno Nacional	Artículos: 10, 11, 24 y 29: Prevención y control de contaminación de las aguas. Tasas retributivas
Documento CONPES 1750 De 1995	Políticas de manejo de las aguas
Ley 09 de 1979	Código Sanitario nacional Art. 51 a 54. Control y prevención de las aguas para consumo humano. Art. 55. Aguas superficiales. Art. 69 a 79. Potabilización de agua
Ley 23 de 1973	Por la cual se conceden facultades extraordinarias al presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente.
Decreto 79 de 1986	Conservación y protección del recurso hídrico
Ley 373 de 1997	Uso eficiente y ahorro del agua
Resolución 40283 de 2019 ministro de Minas y Energía	Deroga la Resolución número 180606 de 2008 por la cual se especificaba los requisitos técnicos que deben tener las fuentes lumínicas de alta eficacia usadas en sedes de entidades publicas

NORMA	DESCRIPCIÓN
Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano
Resolución 075 del 2011	Por el cual se reporta el estado de cumplimiento de la norma de vertimiento puntual al alcantarillado público.
Decreto 113 de 2016 Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C	Establece medidas transitorias y lineamientos para promover el ahorro de energía eléctrica en la ciudad de Bogotá D.C
Decreto 3638 de 2003 Nivel Nacional	Reglamenta el uso racional y eficiente de la energía, crea la Comisión Intersectorial para el uso racional y eficiente de la energía y fuentes no convencionales de energía, CIURE, señala su integración, objeto y funcionamiento, determina lineamientos generales del programa, fija estímulos para la investigación y la educación sobre el uso de energía, crea la orden al mérito URE para distinguir a quienes se destaquen por su uso racional y eficiente, indica las obligaciones de las empresas de servicios públicos, el contenido de las facturas del servicio de energía eléctrica y gas y los derechos de los consumidores.

NORMA	DESCRIPCIÓN
Resolución 075 del 2011	Por el cual se reporta el estado de cumplimiento de la norma de vertimiento puntual al alcantarillado público.
Circular 3 de 2007 Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C	Reseña lineamiento consagrados en el Decreto Nacional 2331 de 2007, por el cual se establece una medida tendiente al uso racional y eficiente de energía eléctrica, ordenando que todas las edificaciones y oficinas donde se encuentre alguna entidad oficial sean del nivel nacional o territorial, adopten tecnologías de mayor eficiencia energética, en especial en lo que se refiere a las bombillas incandescentes por lámparas Fluorescentes Compactas
Decreto 177 de 2016 Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C	Establece medidas transitorias y lineamientos ambientales para promover el ahorro de energía eléctrica en la ciudad de Bogotá, D.C
Decreto 348 de 2017 Nivel Nacional	Adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de energía

NORMA	DESCRIPCIÓN
Circular 020 de 2016 Secretaría General Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C	Dado que el "Fenómeno del Niño", ha causado un impacto en la variación de las condiciones ambientales disminuyendo las fuentes hídricas, se dirige a, directores y Gerentes de Entidades, Órganos y Organismo Distritales, para que adopten las medidas de ahorro de agua y energía señaladas en la presente circular.
Ley 1065 de 2010 Nivel Nacional	El Gobierno nacional, y el resto de las administraciones públicas, en un término no superior a un año, a partir del 1° de junio de 2019, realizarán la auditoría energética de sus instalaciones y establecerán objetivos de ahorro de energía a ser alcanzadas a través de medidas de eficiencia energética y de cambios y/o adecuaciones en su infraestructura. Tales objetivos deberán implicar para el primer año un ahorro en el consumo de energía de mínimo 15% respecto del consumo del año anterior y a partir del segundo año con metas escalonadas definidas a partir de la auditoría y a ser alcanzadas a más tardar en el año 2022. Para tal efecto, cada entidad deberá destinar los recursos (presupuesto) necesarios para cumplir con tales medidas de gestión eficiente de la energía. (Artículo 292)

NORMA	DESCRIPCIÓN
<p>Acuerdo 403 de 2009 Concejo de Bogotá D.C</p>	<p>Adopta en el Distrito Capital "EL APAGÓN AMBIENTAL", como una estrategia voluntaria de ahorro de energía y de contribución a la disminución de los nocivos efectos del calentamiento global en el planeta, consistente en mantener apagadas las luces y aparatos electrónicos por espacio de una hora, cada día 8 de cada mes, en horario de 8 a 9 de la noche. Establece la obligación de las Entidades Públicas Distritales, de mantener apagadas las luces de sus edificios y oficinas durante toda la noche, siendo responsabilidad de los Gestores Ambientales designados por las directivas en cada Entidad, velar por el cumplimiento de esta disposición. Exceptúa de la medida las entidades que presten servicio de salud, seguridad y emergencia.</p>
<p>Decreto Único Reglamentario 1073 de 2015 Nivel Nacional</p>	<p>Se reglamenta el uso racional y eficiente de la energía, de tal manera que se tenga la mayor eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad del mercado energético, la protección al consumidor y la promoción de fuentes no convencionales de energía. El presente decreto se aplica a toda la cadena de energéticos convencionales y no convencionales del territorio nacional</p>

NORMA	DESCRIPCIÓN
Decreto 0570 de 2018	Define la política para el desarrollo de la energía renovable para Colombia como herramienta para mitigar el impacto del fenómeno del niño
Resolución 4-0790 de 2018	Ministerio de Minas y Energía adopta el Plan Indicativo de Expansión para la Generación de Electricidad y la Expansión de la Transmisión 2017-2031, cuyo escenario es que el 63,32% de incorporaciones provengan de FNCER
Ley 1715 de 201	Promover el desarrollo y la utilización de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), principalmente las de carácter renovable y particularmente en zonas no interconectadas.
Ley 697 de 2001	Mediante el cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones
Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial en 2010	Expide la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico que establece principios, objetivos y estrategias para el manejo del recurso en el país.
Decreto 1090 de 2018	Por el cual se Adiciona el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el programa el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y se dicta otras disposiciones.

NORMA	DESCRIPCIÓN
Decreto 474 de 2018 Nivel Nacional	Los usuarios de Publicidad Exterior Visual que utilicen el servicio público de energía eléctrica deberán contribuir a disminuir el consumo para alcanzar los mayores beneficios en el uso eficiente de la energía. De persistir la alta demanda energética que pueda llevar a la limitación del suministro de energía, según la misma valoración que adelante el Ministerio de Minas y Energía, podrán, fijar condiciones que incluyan horarios y zonas de restricción. El Ministerio de Minas podrá solicitar las informaciones pertinentes respecto de la implementación de las medidas de ahorro adoptadas.
Resolución 180919 de 2010 Ministerio de Minas y Energía	Adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, definen sus objetivos y subprogramas, y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el ambiente y los recursos naturales, consolidando una cultura que cuente con las condiciones económicas, técnicas, regulatorias y de información para impulsar un mercado de bienes y servicios energéticos eficientes en Colombia.

Fuente: [80] [81] [69] [18]

9. MARCO METODOLOGICO

La presente investigación se fundamenta en la simulación y proyección de consumo de recursos hídricos y energéticos, es decir, la metodología del trabajo se fundamenta con la de Dinámica de Sistemas cuyo objetivo es comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema. Esto implica incrementar el conocimiento sobre el rol que juega cada elemento dentro del sistema, y observar las diferentes acciones, efectuadas que acentúan o atenúan las tendencias y cada uno de los comportamientos implícitos en el mismo. En este sentido, Forrester propone la construcción de modelos teniendo en cuenta los elementos que se encuentran dentro del sistema y el análisis de las interacciones entre las variables que dinamizan el modelo, y con ello lograr un conocimiento de la evolución a largo plazo del sistema. En esta metodología se construyen representaciones sistémicas con flechas y puntos, diagramas causales, que capturan todas las hipótesis propuestas por el proyecto [45].

De acuerdo a los anterior, para dar cumplimiento a los objetivos establecidos, y en concordancia con la metodología propuesta, se plantean dos escenarios de simulación que permita evaluar la situación actual de la empresa (escenario I), y el comportamiento dentro de la misma si se implementan planes y estrategias en materia ambiental que permitan reducir los impactos generados (escenario II) durante la actividad y operación de la empresa. Esto con el fin de determinar la eficiencia de implementación de planes y programas ambientales y un valor numérico que defina la reducción de consumos.

9.1. Tipo de Investigación

El campo de investigación del presente trabajo se centra en primera instancia, en la disminución del consumo de recursos energéticos e hídricos ocasionados por efecto de operaciones productivas industriales de la empresa manufacturera de piñatería y productos varios para decoración de fiestas; en segundo lugar, el planteamiento de alternativas de planes de acción y mejora del uso de dichos recursos y por ende la afección de servicios ambientales.

La investigación aborda temas cualitativos dado que analiza los consumos energéticos e hídricos, en concordancia con ello, Sampier define la investigación cualitativa como un proceso inductivo donde se explora, describe y se generan perspectivas teóricas que van de lo particular a lo general, teniendo su enfoque en la recolección de datos no estandarizados ni predeterminados. Así, la investigación cualitativa usa técnicas de recolección de datos, como la observación no estructurada, revisión de documentos e interacción con la comunidad estudiada [82].

Por otro lado, el enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio en donde se utiliza la recolección de datos para establecer cada una de las variables y de esta manera probar las hipótesis a través de la medición numérica y el análisis de los métodos estadísticos, esto con el objetivo de establecer una serie de pautas de comportamiento y probar las teorías propuestas. [82]

La metodología propuesta para el desarrollo de la investigación permite construir un modelo de simulación del sistema que permita analizar la raíz del problema y la verificación de que el modelo reproduce de forma satisfactoria el comportamiento

observado. Para realizar las proyecciones de la demanda de los recursos en estudio, se plantearán 3 fases principales que se describen a continuación:

- Información Insumo: Se parte del seguimiento al consumo energético e hídrico, mensual y anual, que será extraído de información histórica de años anteriores (2015-2019) almacenada en bases de datos de organizaciones como Acueducto y Alcantarillado y Enel encargadas de la prestación de los servicios de agua y luz respectivamente.
- Proyección: una vez se valida y analiza esta información, se procede a una segunda etapa en la que se desarrollan modelos de proyección de largo plazo hacia el 2030. Estos permiten estimar la evolución futura del consumo energético e hídrico a partir de su tendencia, estacionalidad y de la posible evolución macroeconómica del país. Esta fase se llevará a cabo a través del software Vensim, que permite hacer una relación entre las variables y evaluar la incidencia de otros factores sobre ellas.
- Revisión: Se verifica la coherencia de los resultados obtenidos propuestos por el modelo y en relación a la evolución de los patrones de consumo de los recursos en los próximos meses y años. Esto permite plantear correcciones y recalcular las cifras si es necesario. Esta fase hace parte de los resultados obtenidos de la investigación.

9.2. Diseño de los Sistemas de Simulación en Vensim

El sistema para el estudio del proyecto se realizará por medio del Software Vensim, que como en capítulos anteriores se definió como la herramienta de simulación más adecuada para el presente estudio.

De este modo, en este apartado se establece la metodología mencionada anteriormente, correspondiente a la simulación de la tendencia de los consumos energético e hídrico de la empresa Arte Didáctica S.A.S.

9.2.1. Definición de las variables

Las variables definidas para el desarrollo de la simulación se relacionan a continuación, teniendo en cuenta, la incidencia sobre el sistema y su efecto al cambio de las mismas. De esta forma, y considerando que el desarrollo del proyecto se llevara mediante el planteamiento de dos escenarios; para el escenario uno (I) las variables propuestas analizan el comportamiento del sistema en función de la tendencia de consumos de los recursos energéticos e hídricos presentada desde el año 2015 al año 2020, y realizan una proyección de consumo hacia el 2030 según los patrones anteriores. Para el escenario dos (II) se incluyen variables relacionadas con la inclusión de tecnologías limpias y su posible disminución de consumo de recursos.

Tabla 3. Definición de las variables del proyecto

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	FUNDAMENTO
Tiempo	Variable sombra	Esta variable influye en el comportamiento del sistema, ya que a través de esta se obtienen los valores de cada uno de los consumos anuales de energía y agua.
Tasa de Cambio	Variable auxiliar	Sobre esta variable influye la variable tiempo, dado que representa los datos de los consumos correspondientes al periodo histórico de 2015 a 2020. Se determina hallando los máximos y/o mínimos de los consumos y costos de cada recurso.
Tendencia de consumo	Variable auxiliar	Define el comportamiento del consumo de los recursos a través del tiempo. Relacionando el consumo histórico (2015-2020) y la proyección hacia el año 2030 la cual fue simulada a partir de los patrones de consumo y prácticas ambientales en la empresa durante los primeros 5 años.
Contadores	Variable de nivel	La empresa Arte Didáctica S.A.S. cuenta con 2 establecimientos para su funcionamiento completo, dado ello, se presentan 2 contadores de luz y 2 contadores de agua respectivamente para cada edificación.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	FUNDAMENTO
Costos de consumo	Variable de Nivel	Esta variable depende del consumo, y representa el valor en \$ de energía y agua que fueron registrados en los contadores.
Consumo de energía y agua	Variable auxiliar	Esta variable depende de los valores del consumo en kW para energía y en m ³ para agua, de cada contador del año inicial del estudio, en este caso año 2015 y corresponde a la sumatoria de los 2 valores correspondientes de consumo.
Costo de energía y agua	Variable auxiliar	Representa el valor en \$ de acuerdo a de los valores del consumo de recursos de cada contador del año inicial del estudio, en este caso año 2015, y corresponde a la sumatoria de estos dos valores.
SEH-ETC	Variable auxiliar	(Sostenibilidad Energética e Hídrica a partir de una Evaluación de Tendencia de Consumos) Esta variable se plantea con el fin de establecer una relación existente entre el consumo de energía y el consumo de agua.
Precipitación	Variable de Nivel	Esta variable se integra en el sistema con el fin de evaluar la relación costo-beneficio que generaría una déficit o superávit de la precipitación en la zona de estudio.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	FUNDAMENTO
Valor de aprovechamiento de aguas lluvia	Variable de información (constante)	Representa el valor en m ³ a reducir mediante la implementación de un sistema de recirculación de aguas lluvia.
CovPre	Variable auxiliar	Representa la relación existente entre la implementación del sistema de recirculación y el consumo hídrico
Brillo Solar	Variable de Nivel	Esta variable se integra en el sistema con el fin de evaluar la relación costo-beneficio que generaría una déficit o superávit del brillo solar en la zona de estudio. Esta variable cuenta con datos del año 2015 y 2016, por lo que se trabajará con estos dos para realizar la simulación a futuro; esto debido a que no se encuentra información suficiente en las entidades encargadas de la medición de esta variable.
Valor aprovechamiento de energía solar	Variable de información (constante)	Representa el valor en kW a reducir mediante la implementación de un panel solar
CovBri	Variable auxiliar	Representa la relación existente entre la implementación de un panel solar y el consumo energético.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	FUNDAMENTO
T	Variable auxiliar	Acumula los datos de los contadores de energía
T Costo T Costos A	Variables auxiliares	Representando el acumulado en \$ de los costos de energía y agua respectivamente.
Valor de aprovechamiento de costos de energía	Variable de información (constante)	Representa el valor en \$ a reducir mediante la implementación de un panel solar
Valor de aprovechamiento de costos de agua	Variable de información (constante)	Representa el valor en \$ a reducir mediante la implementación de un sistema de recirculación
Costos de panel solar. Costo de sistema de recirculación.	Variables auxiliares.	Hace referencia al valor de implementación del panel solar y el sistema de recirculación. Esta inversión se realiza una sola vez en el año 2020
Inversión PS Inversión SR	Variables auxiliares.	Hace referencia a la sumatoria de los costos generados de la implementación de tecnologías limpias en el 2020 y los consumos de recursos.

Fuente: [21]

9.2.2. Sistema de simulación y proyección de consumos en la empresa Arte Didáctica S.A.S

Como se ha mencionado a lo largo del desarrollo del presente documento, el diseño del sistema de simulación se realizó en el Software Vensim, teniendo en cuenta las variables definidas anteriormente. A continuación, se muestra las respectivas convenciones de las variables y el proceso del diseño del sistema de simulación.

Tabla 4. Abreviaturas de las variables

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
SEH-ETC	Sostenibilidad Energética e Hídrica a partir de una Evaluación de Tendencia de Consumos
Subsistema de Energía	
TcBs	Tasa de cambio Brillo Solar
Tnd BS	Tendencia Brillo
CoVsBri	Consumos Vs Brillo Solar
Tc Cs E C1	Tasa de cambio del Consumo de Energía del Contador 1
Tnd Cs E C1	Tendencia de Consumo de Energía del contador 1
Tc Cs E C2	Tasa de cambio del Consumo de Energía del contador 2
Tnd Cs E C2	Tendencia de Consumo de Energía del contador 2
Tc Ct E C1	Tasa de cambio del Costo Energía del contador 1
Tnd Ct E C1	Tendencia de Costo de Energía del contador 1
Tc Ct E C2	Tasa de cambio del Costo Energía del contador 2
Tnd Ct E C2	Tendencia de Costo de Energía del contador 2

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
T costos E	Total de costos de energía
Inversión PS	Inversión por implementación del panel solar
Inversión Total E	Inversión total del subsistema de energía
Subsistema de Agua	
Tc Prec	Tasa de cambio de precipitación
Tnd Prec	Tendencia de precipitación
CoVsPre	Consumos Vs Precipitación
Tc Cs A C1	Tasa de cambio del Consumo de Agua del contador 1
Tnd Cs A C1	Tendencia del consumo de Agua del contador 1
Tc Cs A C2	Tasa de cambio del Consumo de Agua del contador 2
Tnd Cs A C2	Tendencia del consumo de Agua del contador 2
Tc Ct A C1	Tasa de cambio del Costo de Agua del contador 1
Tnd Ct A C1	Tendencia del Costo de Agua del contador 1
Tc Ct A C2	Tasa de cambio del Costo de Agua del contador 2
Tnd Ct A C2	Tendencia del Costo de Agua del contador 2
T Costos A	Total costos de Agua
Inversión SRA	Inversión de implementación del sistema de recirculación de aguas lluvia
Inversión total A	Inversión total del subsistema Agua

Fuente: [21]

9.3. Cuadro metodológico

Tabla 5. Cuadro metodológico del proyecto.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	METODOLOGIA	RECOLECCIÓN DE DATOS
<p>Hacer una modelación de consumo de agua y energía para analizar sus consumos desde el año 2015 hasta al año 2030</p>	<p>Obtención de datos del consumo hídrico y energético de la empresa Arte Didáctica S.A.S.</p> <p>Diseño del modelo de simulación en el software Vensim.</p> <p>Análisis de las simulaciones y proyecciones obtenidas a partir del modelo.</p>	<p>El desarrollo de este objetivo se encuentra bajo la metodología de Dinámica de Sistemas, la cual permite plantear un sistema mediante los datos de consumo y las variables que inciden sobre estos mismos. Dado ello, se realiza una proyección hacia el 2030 con el fin de analizar el comportamiento, su tendencia, y los problemas ambientales generados.</p>	<p>Extracción de los consumos, de las entidades de servicios públicos: Enel para servicio de Luz y Acueducto y Alcantarillado para servicio de Agua.</p> <p>Uso del software Vensim para la simulación y proyección de los consumos anteriores</p>

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	METODOLOGIA	RECOLECCIÓN DE DATOS
<p>Construir escenarios y ecomapas para identificar las zonas de mayores consumos hídricos y energéticos en la zona de estudio</p>	<p>Diseño estructural de la empresa y sus instalaciones.</p> <p>Determinar los consumos de la maquinaria existente en la empresa.</p>	<p>Realizar la cartografía en campo de la zona de estudio.</p> <p>Con base a la información recolectada, se realiza una matriz de aspectos ambientales, que contenga las zonas y actividades desarrolladas dentro de la empresa Arte Didáctica S.A.S. Con el fin de determinar el grado de incidencia del consumo energético e hídrico en cada zona.</p>	<p>Uso del software ArcGIS para la delimitación de la zona de influencia del proyecto.</p> <p>Uso del software AutoCAD para definir la geométrica y estructura de la empresa, definiendo de esta forma los ecomapas de la empresa.</p>

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	METODOLOGIA	RECOLECCIÓN DE DATOS
<p>Formular programas ambientales estratégicos que permitan contribuir con la disminución de los costos y consumos de los recursos en la empresa.</p>	<p>Identificar las principales problemáticas del consumo hídrico y energético en la empresa Arte Didáctica S.A.S.</p> <p>Proponer y determinar la estrategia óptima para disminuir, tanto los consumos como los costos de la empresa.</p>	<p>Formular un Programa de ahorro de energía que permita identificar y evaluar las oportunidades de eficiencia energética, con el fin de mejorar la productividad de la empresa y la disminución del uso del recurso energético.</p> <p>Elaborar un Plan de Ahorro y Uso Eficiente del Agua que comprenda desde la revisión y seguimiento de los consumos, hasta la concientización del personal de la empresa.</p>	<p>Diagnostico interno a través de una matriz DOFA que permita, analizar la organización de la empresa y en base a ello, buscar alternativas apropiadas para la gestión del recurso hídrico y energético.</p>

Fuente: [21]

10. DESARROLLO DEL PROYECTO

Partiendo de la metodología planteada en el apartado anterior, y las actividades a desarrollar (Tabla 5. Cuadro metodológico del proyecto.) para el cumplimiento de los objetivos, se presentan a continuación los resultados alcanzados y su respectivo análisis.

10.1. MODELO DE SIMULACIÓN ENERGETICO E HIDRICO

Para el diseño del modelo de simulación se desarrollaron una serie de actividades con el fin de obtener la información base que permita realizar la proyección de los patrones de consumo de la empresa Arte Didáctica S.A.S, de la siguiente forma:

1. PRIMERA FASE

Recolección de información de insumo, basada en los consumos energéticos e hídricos mensuales de las instalaciones, a partir del año 2015 y finalizando año 2019. Dicha información fue solicitada a la empresa EAAB y Enel, con el propósito de establecer la base de datos del proyecto (Anexo 1. Base de datos de Arte Didactica S.A.S Anexo 1. Base de datos de Arte Didactica S.A.S y con esta última obtener la tasa de cambio de consumos y costos (**Ecuación 2. Tasa de cambio (Tc)**) y sus respectivas tendencias para su posterior proyección hacia el 2030.

$$Tc = \frac{\text{Dato del año anterior} - \text{Dato del año siguiente}}{\text{Dato del año siguiente}}$$

Ecuación 2. Tasa de cambio (Tc)¹

$$Tc = \frac{9 - 38,7}{38,7}$$

Ejemplo 1. Tasa de cambio de consumo de agua²

¹ La tasa de cambio para consumos y para costos, se determina con la misma ecuación

² Dato del año 2015 (9) – Dato del año 2016 (38,7)

La tendencia de consumos y costos viene representada por la siguiente ecuación (**Ecuación 3. Tendencia (Tnd)**); establecida dentro del modelo de simulación usando como información de entrada (**Tc**).

$$Tnd = Tc * \text{Valor inicial}$$

Ecuación 3. Tendencia (Tnd)

$$Tnd = \left(\frac{9 - 38,7}{38,7} \right) * 9$$

Ejemplo 2. Tendencia de consumo de agua³

Posteriormente se establece una variable de nivel denominada Contador o Costo de energía-agua (dependiendo el subsistema) la cual determinara el valor inicial correspondiente al año 2015 tanto de consumos como de costos. El proceso descrito anteriormente, se evidencia en las siguientes figuras y aplica para la información base de las variables de los contadores de energía-agua, y adicionalmente las variables que representan el costo de cada uno.

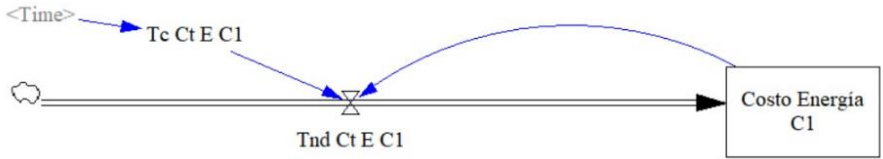


Figura 12. Información base de costos de energía por contadores
Fuente: [21]

³ El valor inicial corresponde al consumo promedio del primer año (2015)

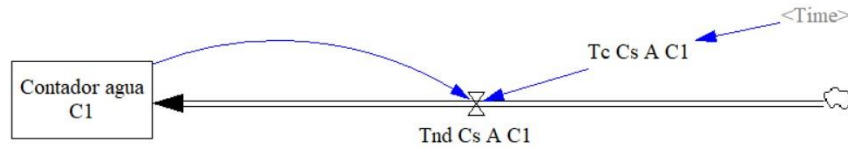


Figura 13 Información base de consumo de agua por contadores.

Fuente: [21]

Es importante aclarar, que la variable Time es una variable de sombra que influye en el comportamiento del sistema, ya que a través de esta se obtienen los valores de cada uno de los consumos anuales de energía y agua. Representa el tiempo en el cual se realizará el desarrollo de la proyección, es decir, 2015 a 2030.

2. SEGUNDA FASE

Una vez establecida la información base, se procede a una segunda etapa en la que se desarrollan las variables de proyección, que incluyen el diseño de dos escenarios.

2.1. Escenario uno

Inicialmente se evalúan las proyecciones de consumos y costos, teniendo en cuenta los patrones actuales de la empresa; considerando las variables establecidas en la fase anterior se procede a realizar la simulación y proyección al año 2030, con el fin de evaluar el comportamiento de las variables.

Es importante establecer una variable que contenga el acumulado de los consumos y costos de los recursos, que tendrá un valor inicial correspondiente al obtenido en el 2015 dada en (\$) para costos y kW o m³ para consumos respectivamente; como se representa a continuación para cada uno de los subsistemas:

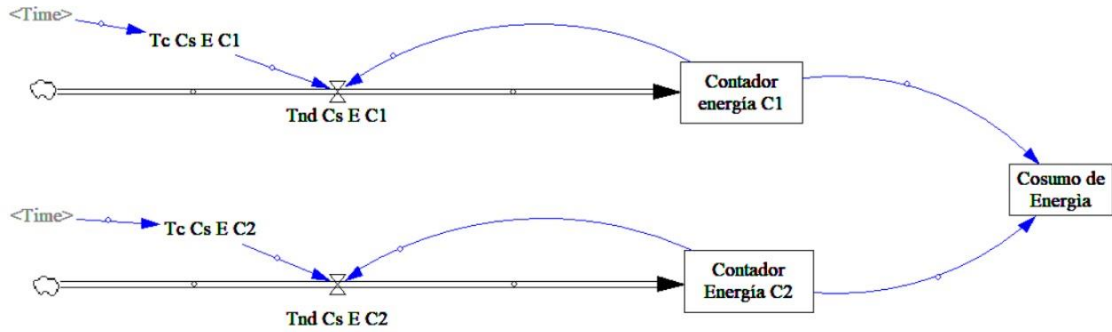


Figura 14. Subsistema consumo de energía.

Fuente: [21]

$$\text{Consumo Energía} = \frac{(\text{Contador energía C1} + \text{Contador de energía C2})}{10}$$

Ecuación 4. Total de consumo de energía de los contadores 1 y 2

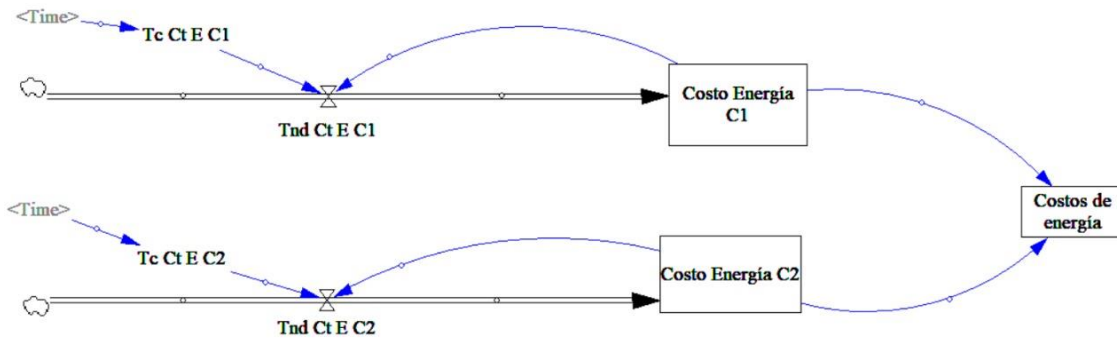


Figura 15. Subsistema costos de energía

Fuente: [21]

$$\text{Costos de energía} = \frac{(\text{Costos energía C1} + \text{Costos de energía C2})}{100}$$

Ecuación 5. Total de costos de energía de los contadores 1 y 2

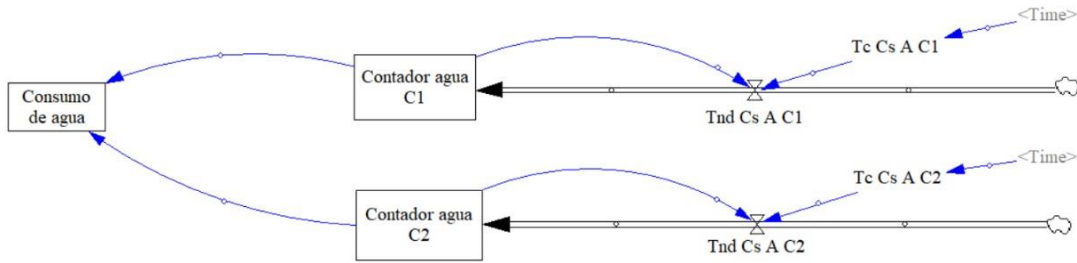


Figura 16. Subsistema consumo de agua

Fuente: [21]

$$\text{Consumo de agua} = \text{Contador agua C1} + \text{Contador agua C2}$$

Ecuación 6. Total consumos de agua de los contadores 1 y 2

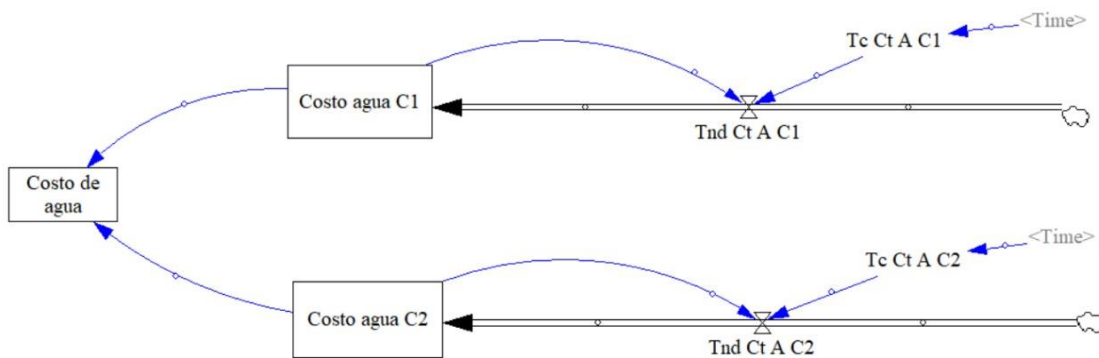


Figura 17. Subsistema costo de agua

Fuente: [21]

$$\text{Costo de agua} = \text{Costo agua C1} + \text{Costo agua C2}$$

Ecuación 7. Total costo de agua de los contadores 1 y 2

Una vez definido cada subsistema del modelo, es sustancial establecer la variable

SEH-ETC que representa relación existente entre el consumos y costos de los recursos; de igual forma permite hacer el cierre del sistema para realizar la proyección y evaluación de forma conjunta.

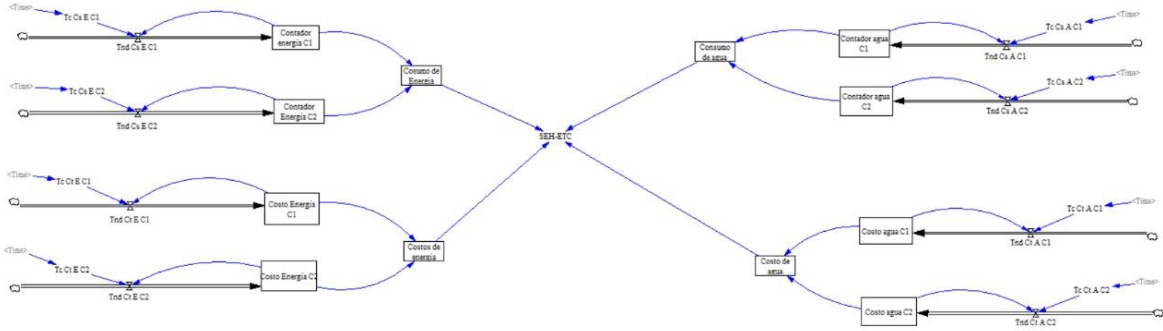


Figura 18. Modelo de simulación Escenario I

Fuente: [21]

2.2. Escenario dos

Para el diseño del escenario dos se toma como base del sistema de simulación, el establecido para el escenario uno y representado en la

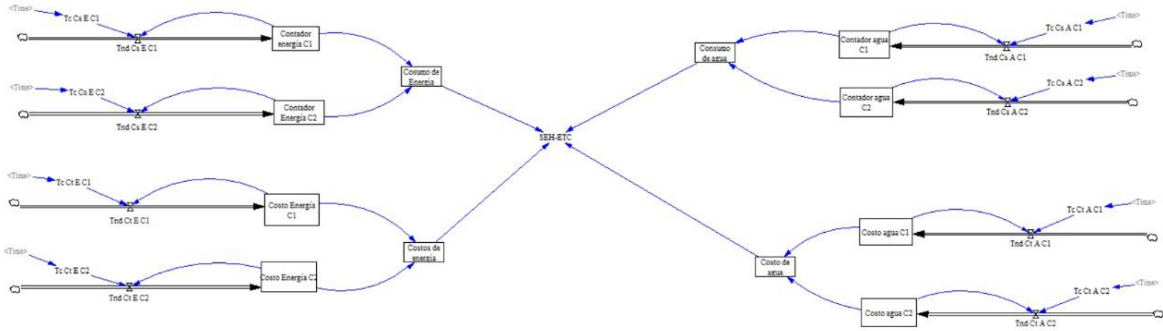


Figura 18. Modelo de simulación Escenario I. A diferencia de este último, es este escenario se involucra la implementación de variables ligadas a la inclusión de tecnologías limpias que tienen como objetivo la disminución del uso de recursos hídricos y energéticos, encaminados a su vez dentro del marco de la sostenibilidad. Teniendo te cuenta lo anterior, para el desarrollo de la propuesta de sostenibilidad se implementa la intervención de energía fotovoltaica y sistema de recirculación de

aguas lluvias. Por lo cual, en primera instancia se realizó la solicitud de información base (brillo solar y precipitación) de la zona de estudio definida en DELIMITACIÓN DEL PROYECTO, con el fin de establecer los datos históricos de las variables y con ello establecer las tasas de cambio, las tendencias y finalmente la proyección hacia el 2030.

En este orden de ideas, a continuación, se evidencian la interacción de las variables dentro del sistema:

$$\mathbf{Tc\ BS} = \frac{\text{Dato del año anterior} - \text{Dato del año siguiente}}{\text{Dato del año siguiente}}$$

Ecuación 8. Tasa de cambio del Brillo solar

$$\mathbf{Tc\ BS} = \frac{128,8 - 164,9}{164,9}$$

Ejemplo 3. Tasa de cambio del brillo solar

$$\mathbf{Tnd\ BS} = \frac{Tc\ BS}{100}$$

Ecuación 9. Tendencia de Brillo Solar

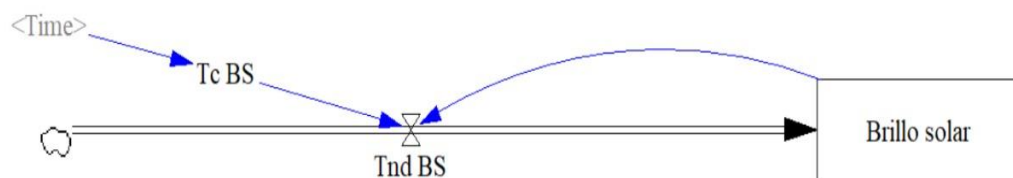


Figura 19. Subsistema de la variable Brillo Solar

$$\mathbf{Tc\ Prec} = \frac{\text{Dato del año anterior} - \text{Dato del año siguiente}}{\text{Dato del año siguiente}}$$

Ecuación 10. Tasa de cambio de precipitación

$$\mathbf{Tc\ Prec} = \frac{44,5 - 70,8}{70,8}$$

Ejemplo 4. Tasa de cambio de precipitación

$$\mathbf{Tnd\ Prec} = \text{Tc Prec} \cdot \text{Precipitación}$$

Ecuación 11. Tendencia de Precipitación

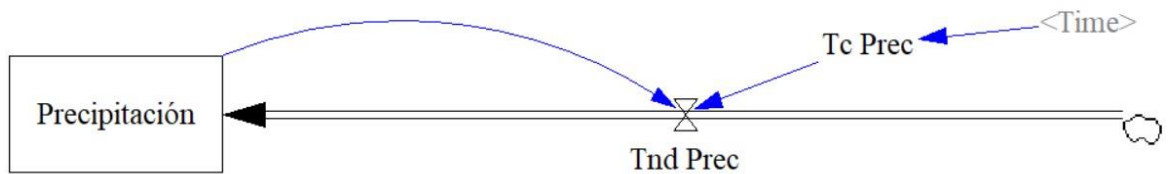


Figura 20. Subsistema de la Variable Precipitación

Dado el establecimiento de las variables anteriores y teniendo en cuenta que para el desarrollo del Escenario II se plantea el establecimiento de un sistema que permita la reducción de consumos y costos de recursos, es importante definir un valor de aprovechamiento para cada uno de ellos como se evidencia a continuación, con sus respectivos valores y diseño en el modelo:

Tabla 6. Fundamento del valor de aprovechamiento de la implementación de tecnologías limpias.

Variable	Valor	Fundamento
Valor de aprovechamiento de consumo de energía	183 kW/hr al año	Este valor se define teniendo en cuenta el uso de un panel solar de 100W con aproximadamente 5 horas de exposición.
Valor de aprovechamiento de consumo de agua.	4m ³	Este dato es estimación aproximada de reducción de acuerdo a diferentes fuentes de investigación consultadas en implementación de sistemas de recolección de aguas lluvia. [83] [84]
Valor de aprovechamiento de costos de energía.	\$46.848	Este valor corresponde al costo en \$ teniendo en cuenta el consumo kW (183) proporcionado por el panel solar y el valor del kW que corresponde a \$256
Valor de aprovechamiento de costos de agua.	\$8.800	Este valor corresponde al costo en \$ teniendo en cuenta el consumo m ³ (4) proporcionado por el sistema de recirculación de aguas lluvia y el valor del m ³ que corresponde a \$2200

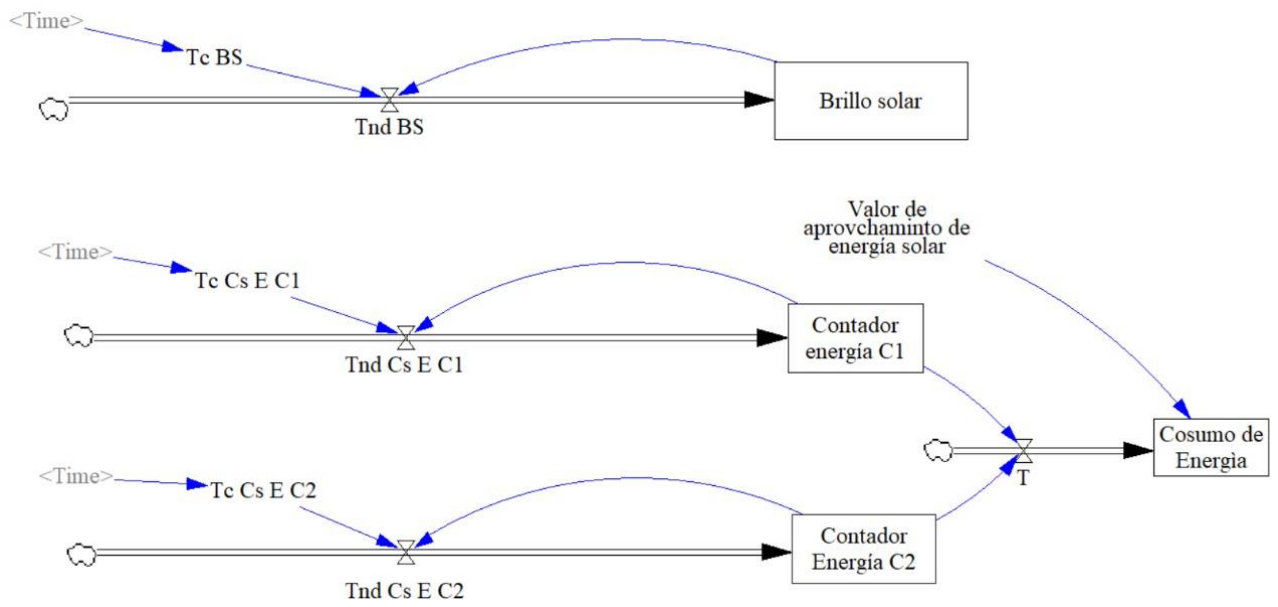


Figura 21. Valor de aprovechamiento de consumo de energía.

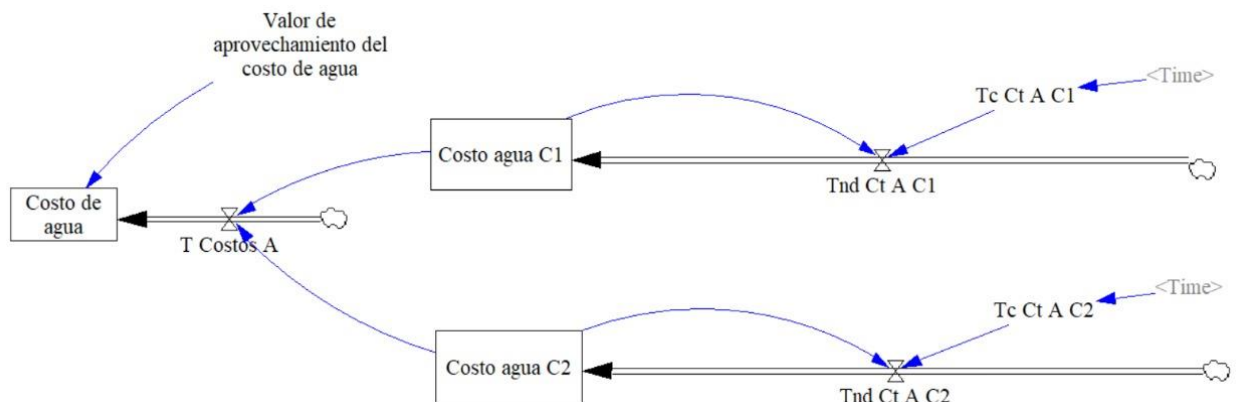


Figura 22. Valor de aprovechamiento de costos de agua.⁴

Las variables correspondientes al Valor de aprovechamiento alimentan las variables Consumo de Energía, Costo de Energía, Consumo de Agua y Costo de agua con la condición de interactuar con los datos obtenidos a partir del año 2020, es decir, que desde este momento se evidencia la disminución en las variables anteriormente mencionadas hasta el año 2030. A continuación, se presentan las ecuaciones de cada una:

⁴ La variable T Costo es una variable que representa el acumulado de consumos y costos totales, es decir es la sumatoria de los anuales. Esta se ve reflejada en los dos subsistemas del modelo.

$CE: T \text{ Consumo E} - STEP(\text{Valor de aprovechamiento de energía solar}, 2020)$

Ecuación 12. Variable consumo de energía.

$CE: T \text{ Consumo E} - STEP(\text{Valor de aprovechamiento de costos de energía}, 2020)$

Ecuación 13. Variable costos de energía.

$CA: (C1 + C2) - STEP(\text{Valor de aprovechamiento de recirculación de aguas lluvias}, 2020)$

Ecuación 14. Variable consumo de agua.

$CA: T \text{ Costos A} - STEP(\text{Valor de aprovechamiento del costo de agua}, 2020)$

Ecuación 15. Variable Costos de Agua.

Una vez establecidas las variables de entrada de los consumos energía y agua se establece la relación existente entre el brillo solar (ConVsBri) y la precipitación (ConVsPre) de la zona de estudio, que permiten determinar si las condiciones de la zona son adecuadas para la implementación de las tecnologías limpias planteadas a lo largo del desarrollo del proyecto.

Esta relación es representada dentro del modelo, de la siguiente forma:

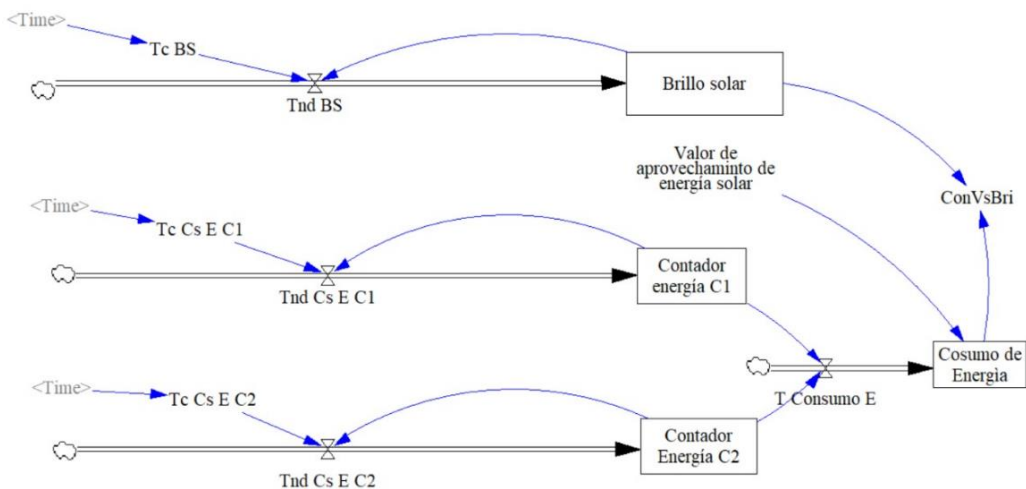


Figura 23. Relación de Consumo de energía y brillo solar.

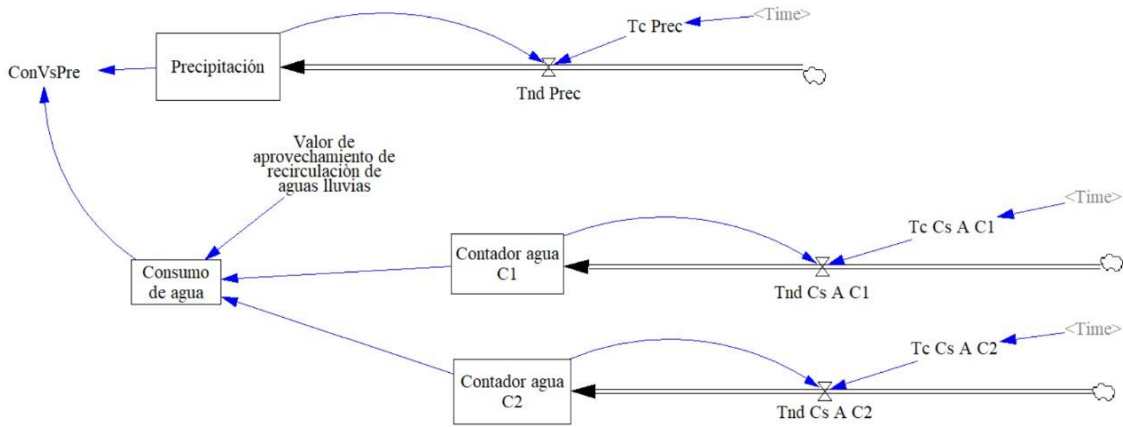


Figura 24. Relación entre el consumo de agua y precipitación.

Por otro lado, se determinan las variables relacionadas a los costos, éstas representan la inversión de la implementación del panel solar y el sistema de recirculación de aguas lluvia. Cabe señalar que esta inversión se realiza una única vez en el año 2020

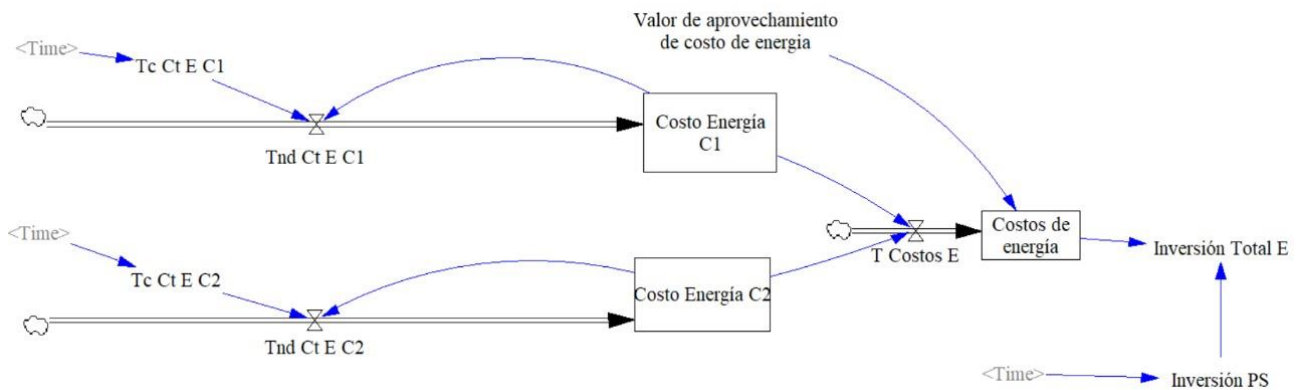


Figura 25. Relación de inversión Panel Solar

Se estima que la implementación del panel solar tendrá un costo de \$1'500.000, de igual forma la implementación del sistema de recirculación tendrá un costo de \$2'500.000. Datos que fueron obtenidos mediante revisión en diferentes empresas dedicadas a la implementación de estas tecnologías.

Finalmente se plantea una variable central (SEH-ETC) que da cierre al sistema y permite generar una relación entre los consumos y costos, de esta forma se lleva a cabo la simulación del modelo.

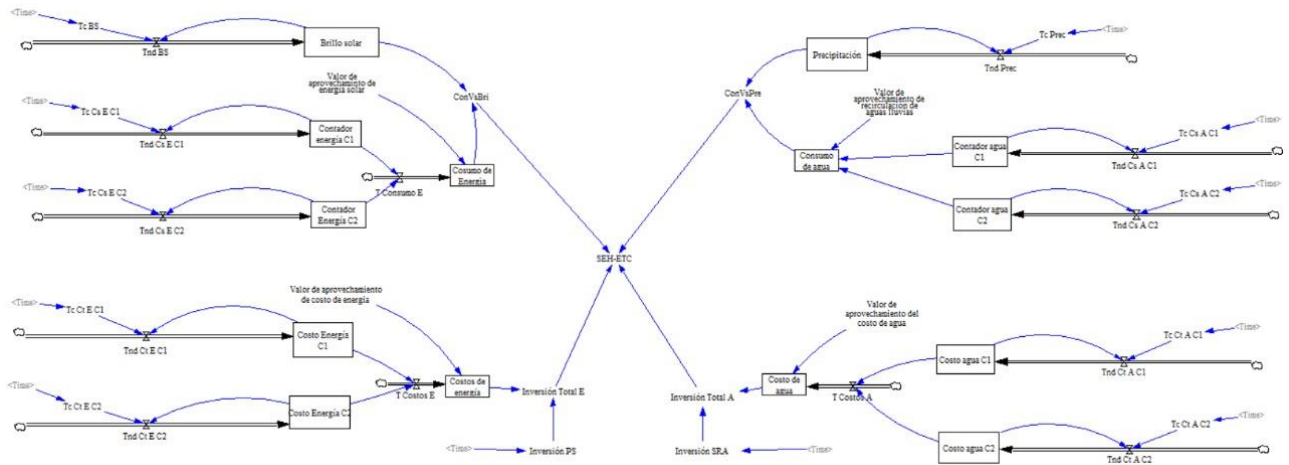


Figura 26. Modelo de simulación Arte Didáctica S.A.S (Escenario I Y II)

10.2. ECOMAPAS E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE MAYOR CONSUMO

Los Ecomapas permiten identificar las zonas de mayor consumo en cada una de las sedes de la empresa Arte Didáctica S.A.S, con el fin de establecer las zonas “críticas” y en las cuales se deben hacer énfasis con el fin de fortalecer la propuesta de sostenibilidad ambiental. Estos ecomapas se encuentran en el Anexo No.2

Para la identificación de las zonas críticas referentes al consumo hídrico y energético, en primera instancia se realizó una visita de campo con el objetivo de identificar las actividades pertenecientes al proceso de producción de la empresa. Una vez realizada la visita se establecieron las principales actividades que requerían uso de agua y energía para su desarrollo, como se evidencia en la *Tabla 9. Principales actividades del proceso de producción de Arte Didáctica S.A.S*

Posterior a ello, se estableció el Anexo 3. Formato de Uso de agua Arte Didáctica

S.A.S de consumo hídrico en las dos sedes de la empresa con el objetivo de conocer el volumen de agua consumida en cada una de las actividades, y de esta forma establecer en donde se encuentra el mayor consumo; y a su vez, definir el área de implementación del Sistema de Recirculación de Aguas Lluvia (SRA)

Por otro lado, para determinar la zona de mayor consumo de energía se tuvo en cuenta la maquinaria y dispositivos eléctricos usados en las sedes de la empresa; considerando una jornada laboral de 48 horas semanales. Esto se puede evidenciar en la Tabla 12. Consumo de energía por equipos y maquinarias Sede principal Arte Didáctica S.A.S y la Tabla 13. Consumo de energía por equipos y maquinarias Sede de impresión Arte Didáctica S.A.S.

10.3. PROGRAMAS ESTRATEGICOS AMBIENTALES

El planteamiento de los programas ambientales se define teniendo en cuenta un análisis visual y contextual de la empresa Arte Didáctica S.A.S, y de igual forma el análisis de la matriz DOFA presentada en la Tabla 7. Matriz DOFA empresa Arte Didáctica S.A.S

Tabla 7. Matriz DOFA empresa Arte Didáctica S.A.S

DEBILIDADES	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Inexistencia de programas y/o estrategias en materia ambiental • Falta de conocimiento e involucramiento del personal con las estrategias y actividades ambientales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de un Sistema de Gestión Ambiental • Valor agregado por implementación de SGA • Apoyo de la alta dirección para la implementación y mejora del SGA

FORTALEZAS	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Organizar y mantener información documentada pertinente para el modelo de simulación y los programas ambientales. • Disposición de todo el personal de la empresa por aprender y contribuir con el medio ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento desmedido en los consumos hídricos y energéticos. • Incremento en los costos por uso de servicios (Enel y Acueducto). • Cambio en la normatividad ambiental.

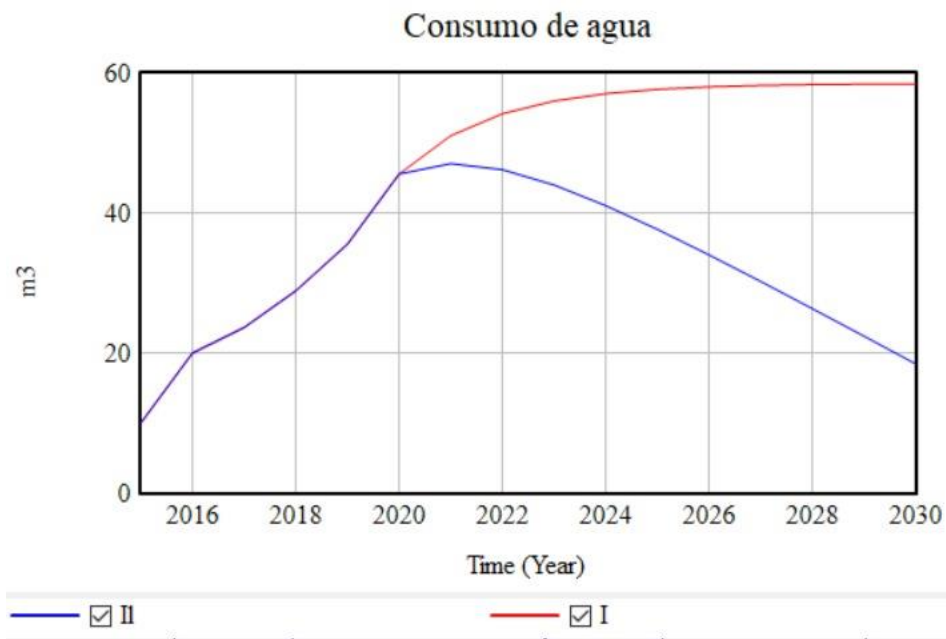
11. ANALISIS Y RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del desarrollo de los objetivos específicos para dar cumplimiento al objetivo general del proyecto, de igual forma se presenta el análisis de dichos resultados y la validación del modelo.

- **Resultados obtenidos a partir del diseño del sistema de simulación de la empresa arte didáctica S.A.S mediante software Vensim**



Gráfica 1. Costos de Agua (Escenario I Y II)



Gráfica 2. Consumo de agua (Escenario I y II)

La

Gráfica 1. Costos de Agua (Escenario I Y II)

Gráfica 2. Consumo de agua (Escenario I y II)

evidencia el comportamiento y la tendencia referente al costo del agua por demanda de dicho recurso; se percibe una tendencia creciente a partir del año 2020 de continuar con los consumos actuales dentro de la empresa (Escenario I –

Rojo). Sin embargo, con la implementación del sistema de recirculación de aguas lluvia (SRA), efectuado también en el año 2020, se logra percibir a una reducción en los costos del 69,4%, (Escenario II – Azul) que a su vez equivale a un ahorro de \$75293 correspondiente al año 2030.

La

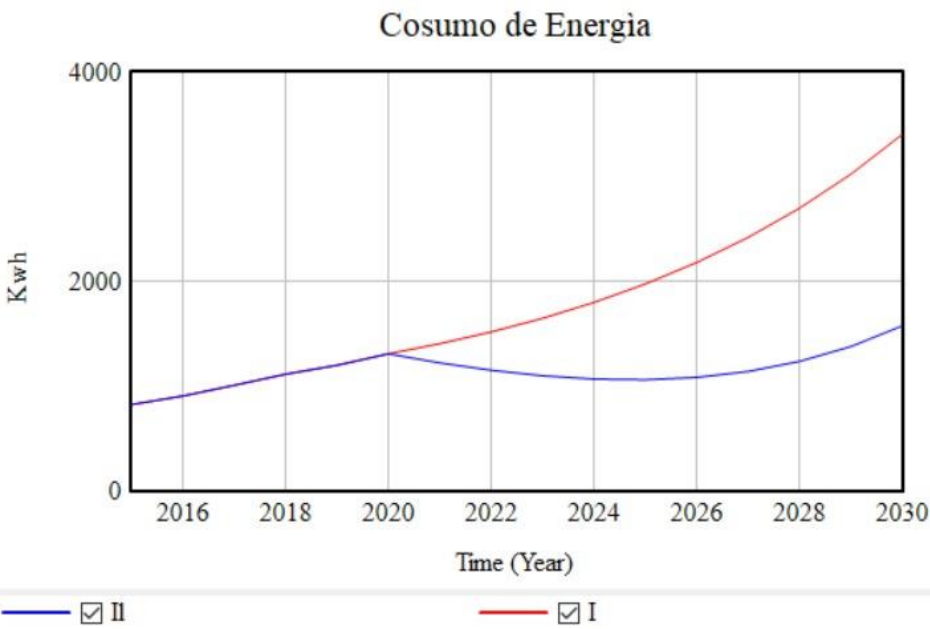
Gráfica 1. Costos de Agua (Escenario I Y II)

Gráfica 2. Consumo de agua (Escenario I y II)

refleja el comportamiento tendencial del consumo del recurso hídrico dentro de la empresa donde se demuestra un aumento en el consumo de seguir con los patrones y practicas actuales (Escenario I -Rojo); sin embargo, con la aplicación del SRA (Escenario II – Azul) se evidencia una reducción de consumo del 59,5% equivalentes a 27.11 m³ correspondiente al año 2030.

Dentro de la identificación de áreas de la empresa (Anexo 2. Ecomapas Arte Didactica S.A.S) se establecieron los espacios donde se requiere uso del agua, de acuerdo a ello, es importante señalar que el agua recolectada del SRA será aprovechada exclusivamente para uso de descargas de inodoros y lavado de rodillos de la máquina de impresión, teniendo en cuenta que estas actividades no requieren parámetros de calidad o potabilidad para su uso.

Cabe señalar que el valor de inversión del sistema de recirculación de aguas lluvia equivale a 2'.500.000, teniendo en cuenta la instalación para cada una de las sedes; este valor representa una única inversión en el año 2020.



Gráfica 3. Costo de Energía (Escenario I Y II)

Gráfica 4. Consumo de Energía (Escenario I Y II)

De la misma forma, la Gráfica 3. Costo de Energía (Escenario I Y II)

Gráfica 4. Consumo de Energía

(Escenario I Y II) representan un incremento en los costos energéticos de Arte Didáctica S.A.S relacionada a las prácticas de uso y consumo actuales en las instalaciones (Escenario I – Rojo), ahora bien, con la implementación del Panel Solar en el año 2020 (Escenario II – Azul) se evidencia una reducción del 44,9% en el consumo correspondiente al año 2030 que representa un ahorro de \$269825.

Finalmente, en la Gráfica 3. Costo de Energía (Escenario I Y II)

Gráfica 4. Consumo de Energía

(Escenario I Y II) se expone la tendencia de consumo de energía para ambos escenarios, donde se refleja un porcentaje de reducción del 10,4% equivalente a 136,8 kW ahorrados al año 2030 (Escenario II – Azul) por efecto de la implementación de Paneles Solares; contrario al aumento exponencial por efectos de las practicas actuales de consumo (Escenario I – Rojo).

Cabe señalar, que se implementarán dos (2) paneles solares de 100Wats cada uno que estarán aproximadamente por 5 horas de exposición, el cual genera un valor de aprovechamiento de 183 kW/ hr al año; el valor de inversión para la instalación de los paneles solares será de 1'500.000 este valor representa una única inversión en el año 2020.

Por último, de acuerdo a los datos de consumo proyectados mediante el modelo de simulación (Figura 26. Modelo de simulación Arte Didáctica S.A.S (Escenario I Y II)), y de igual forma los datos reales de consumo de la empresa (Anexo 1. Base de datos de Arte Didactica S.A.S), se establece el porcentaje de error del sistema de simulación tanto para el consumo de energía como para el consumo de agua; tomando como referencia la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

% de Error Consumo de energía	% de Error Consumo de agua
-------------------------------	----------------------------

Tabla 8. Porcentaje
validación del
Simulación de Arte

13,09	1,40
-------	------

de error y
Sistema de
Didáctica S.AS.

De acuerdo con [85] el resultado debe ser menor a 5% para considerar un ajuste válido, con lo anteriormente expuesto (Tabla 8. Porcentaje de error y validación del Sistema de Simulación de Arte Didáctica S.A.S.) se puede definir que el Modelo de Simulación de la empresa Arte Didáctica S.A.S es válido, dado los resultados obtenidos del % de error.

- **Resultados obtenidos a partir del diseño de los Ecomapas de la empresa Arte Didáctica S.A.S.**

De acuerdo al desarrollo planteado en el apartado ECOMAPAS E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE MAYOR CONSUMO para el cumplimiento de este objetivo, se obtiene como resultado en primera instancia las actividades y zonas de consumos energético e hídrico de la empresa, representados en la Tabla 9. Principales actividades del proceso de producción de Arte Didáctica S.A.S.

Tabla 9. Principales actividades del proceso de producción de Arte Didáctica S.A.S

SEDE	RECURSOS	ACTIVIDADES
Sede Principal	Consumo de agua	Descarga de inodoros Lavado de manos Limpieza y desinfección de áreas
	Consumo de energía	Área de empaque y embalaje Área administrativa Bodega

SEDE	RECURSOS	ACTIVIDADES
Sede de impresión	Consumo de agua	Descarga de inodoros Lavado de manos Limpieza y desinfección de áreas Lavado de rodillos de la máquina de impresión
	Consumo de energía	Área administrativa Área de impresión (uso de luz artificial e impresora)

Fuente: [21]

Luego de identificar dichas actividades, se estableció un control y seguimiento a cada una de ellas, por medio de los formatos que se mencionan en el apartado ECOMAPAS E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE MAYOR CONSUMO. Los resultados obtenidos se encuentran a continuación:

Tabla 10. Consumo de agua por actividades Sede principal de Arte Didáctica S.A.S

SEDE PRINCIPAL								
Elemento	Caudal (lt/min)	Actividad	Tiempo por Actividad (min)	Cantidad de veces al día	Volumen total por día(lt)	Volumen por mes (lt)	Volumen mensual (m3)	Porcentaje por actividad (%)
Lava Manos	2.25	Lavarse las manos	1	40	90	2700	2.70	29%
Grifo Lavadero	2.25	Lavado de insumos de limpieza	10	2	45	1350	1.35	15%
Inodoro		Uso de inodoro	N/A	36	172.8	5184	5.18	56%
Consumo Total Mes (Lt)						9234	9.23	100%

Tabla 11. Consumo de agua por actividades Sede de impresión de Arte Didáctica S.A.S

SEDE DE IMPRESIÓN								
Elemento	Caudal (lt/min)	Actividad	Tiempo por Actividad (min)	Cantidad de veces al día	Volumen total por día(lt)	Volumen por mes (lt)	Volumen mensual (m3)	Porcentaje por actividad (%)
Lava Manos	2.25	Lavarse las manos	1	15	33.75	1012.5	1.01	11%
Grifo Lavadero	2.25	Lavado de rodillos	10	1	22.5	675	0.68	7%
		Lavado de insumos de limpieza	5	1	11.25	337.5	0.34	4%
Inodoro		Uso de inodoro	N/A	10	48	1440	1.44	16%
Consumo Total Mes (Lt)						3465	3.47	38%

De acuerdo con la Tabla 10. Consumo de agua por actividades Sede principal de Arte Didáctica S.A.S las zonas de mayor consumo de agua en la sede principal corresponden a uso de inodoros. De la misma forma la Tabla 11. Consumo de agua por actividades Sede de impresión de Arte Didáctica S.A.S indica que las zonas de mayor consumo en la sede de impresión son el área de lavado de rodillos y uso de inodoros.

Lo anterior nos permite confirmar los volúmenes y las áreas en las cuales se realizaría aprovechamiento de aguas lluvia.

Finalmente, la tabla Tabla 12. Consumo de energía por equipos y maquinarias Sede principal Arte Didáctica S.A.S indica que las zonas de mayor consumo de energía en esta sede corresponden a las áreas administrativas y la Tabla 13. Consumo de energía por equipos y maquinarias Sede de impresión Arte Didáctica S.A.S define que la zona de mayor consumo de energía en esta sede corresponde al área de impresión de la empresa.

Lo anterior nos permite confirmar las áreas en las cuales se realizaría la implementación de aprovechamiento de energía fotovoltaica.

Tabla 12. Consumo de energía por equipos y maquinarias Sede principal Arte Didáctica S.A.S

SEDE PRINCIPAL									
Aparato Electrónicos	Descripción de Consumo	Potencia		Tiempo de uso (h)			Consumo Mensual (kW/h)	Consumo Per cápita (kW/h)	%
		Watts	Kilowatts	Entre semana	Fin de Semana	Mensual			
Tv Samsung 32	110 W	110	0,11	40	4	176	19,36	6,45	8%
Tv Toshiba 42"	220 W	220	0,22	40	4	176	38,72	12,91	16%
Tv Samsung 32	110 W	110	0,11	40	4	176	19,36	6,45	8%
Sistema de alarma	20 W	20	0,02	120	48	672	13,44	4,48	5%
Equipo cámaras de seguridad	2,5 W	2,5	0,0025	120	48	672	1,68	0,56	1%
Portátil Acer	19V - 2,37 A	45,03	0,04503	35	4	156	7,02	2,34	3%
Computador hp	240 W	240	0,24	35	4	156	37,44	12,48	15%
Computador hp	240 W	240	0,24	35	4	156	37,44	12,48	15%
Portátil Dell	19,5V - 3,34 A	65,13	0,06513	35	4	156	10,16	3,39	4%
Portátil Toshiba	19 V-3,42A	64,98	0,06498	35	4	156	10,14	3,38	4%
Microondas Home	700 W	700	0,7	5	1	24	16,80	5,60	7%
impresora y fotocopidora multifuncional RICOH	760 W	760	0,76	10	2	48	36,48	12,16	15%
Consumo Total							248,04	82,68	100%

Tabla 13. Consumo de energía por equipos y maquinarias Sede de impresión Arte Didáctica S.A.S

Sede de impresión								
Aparato Electrónicos	Descripción de Consumo	Potencia		Tiempo de uso (h)			Consumo Mensual (kW/h)	Consumo Per cápita (kW/h)
		Watts	Kilowatts	Entre semana	Fin de Semana	Mensual		
Tv Samsung 32	110 W	110	0,11	40	4	176	19,36	6,45
Sistema de alarma	20 W	20	0,02	120	48	672	13,44	4,48
Portátil Acer	19V - 2,37 A	45,03	0,04503	35	2	148	6,66	2,22

Computador hp	240 W	240	0,24	28	0	112	26,88	8,96
Impresora HEIDELBERG OFFSET 52x74 cm	80000 W	80000	80	8	0	16	1280,00	426,67
Consumo Total							1346,34	448,78

- **Resultados obtenidos para la construcción de los Programas Ambientales de la empresa Arte Didáctica S.A.S.**

Con el fin de robustecer la propuesta de sostenibilidad de la empresa Arte Didáctica S.A.S, se plantearon los programas ambientales encontrados en el Anexo 4. Programas Ambientales Arte Didactica S.A.S, teniendo en cuenta la matriz DOFA realizada anteriormente; y de forma tal que permitan fortalecer y enriquecer la educación en materia ambiental de los colaboradores, a través de actividades sencillas y básicas que no representan un costo monetario significativo a la empresa. Lo anterior, permitiendo que los programas ambientales contribuyan con el control de la contaminación y la mitigación de los impactos ambientales asociados a la demanda de los recursos hídricos y energéticos.

12.RECOMENDACIONES

- Se recomienda diseñar el Sistema de Gestión Ambiental para la empresa Arte Didáctica, que permita fortalecer la presente propuesta de sostenibilidad e involucrar la empresa en materia ambiental.
- Es importante establecer campañas de sensibilización con los colaboradores de las sedes con el fin de entender la importancia del uso adecuado de los recursos e implicarlos con la educación ambiental.
- Definir roles y responsabilidades para la ejecución de las actividades de los programas ambientales, el seguimiento del modelo de simulación y la investigación en materia ambiental.
- Se recomienda establecer un departamento Ambiental que agrupe y tenga la función de llevar todo el control de los aspectos ambientales de la empresa
- Establecer una matriz de impactos ambientales que permita fortalecer los programas y definir más actividades ambientales en pro de la mejor continua.
- Se recomienda implementar los programas ambientales y evaluar la eficacia de cada uno de ellos y sus actividades.

13. CONCLUSIONES

- Bajo la simulación del Escenario I se evidencia un aumento del 13m³ de seguir con la tendencia de consumo actual, lo que equivale a 28%. De igual forma se evidencia un incremento del 11% equivalente a \$12.707
- Bajo la simulación del Escenario I se evidencia un aumento del 2144kW de seguir con la tendencia de consumo actual, lo que equivale a 80%. De igual forma se evidencia un incremento del 33% equivalente a \$198.655
- La implementación de un Sistema de Recirculación de aguas lluvia, a la empresa Arte Didáctica S.A.S permitió establecer una reducción de consumo de 59% y una reducción de costos 69%
- La implementación de energía Fotovoltaica, a la empresa Arte Didáctica S.A.S permitió establecer una reducción de consumo de 10% y una reducción de costos 44%
- De acuerdo a los resultados obtenidos en el Escenario II se determina que las tecnologías limpias ofrecen una eficiencia optima de implementación, puesto que su inversión es una única vez para la implementación y se obtienen resultados hasta por años.
- Desde un punto de vista metodológico, el problema alineado a la demanda excesiva de recursos hídricos y energéticos constituye un desafío teniendo en cuenta el crecimiento demográfico y desarrollo industrial el cual carece de compromiso ambiental.

14. BIBLIOGRAFÍA

- [E. Bryngidur, J. Hlynur y E. Asgersson, «Simulation of Alternative Fuel Markets using
1 Integrated System Dynamics Model of Energy System,» *Procedia Computer Science*,
] pp. 513-521, 2015.
- [K. Locmelis, A. Blumberga, U. Barris y D. Blumberga, «Energy policy for energy
2 intensive manufacturing companies and its impact on energy efficiency improvements.
] Sistem dynamics approach,» *Energy Procedia*, pp. 10-16, 2017.
- [V. Ramirez, G. Lozada, J. Hernandez Mejia y M. Miranda, «Un Modelo de Simulación
3 de la Producción y Consumo de Energía Eléctrica en Venezuela.,» de *Conference: XII*
] *Conferencia Latinoamericana de Dinámica de Sistemas*, Costa Rica, 2014.
- [. G. . E. Gancino Bustamante , 2018. [En línea]. Available:
4 <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16663/1/T-UCE-0011-ICF-037.pdf>.
] [Último acceso: 9 mayo 2020].
- [G. Ramírez, L. Giraldo, N. Tabares y J. Osorio, «Simulación dinámica de una
5 alternativa de generación de energía a partir de residuos,» *Mutis*, vol. 7, pp. 67-77,
] 2017.
- [M. Faezipour y S. Ferreira, «Assessing Water Sustainability Related to Hospitals Using
6 System Dynamics Modeling,» *Procedia Computer Science*, pp. 27-32, 2014.
]
- [L. Cheng, «System dynamics model of Suzhou water resources carrying capacity and
7 its application,» *Water Science and Engineering*, pp. 144-155, 2010.
]
- [A. Rubio Martín, *Desarrollo y aplicación de un modelo de dinámica de sistemas para la*
8 *gestión ítegral del sistema Júcar*, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia Camino
] de Vera, 2016.
- [C. P. Ruiz, «Análisis de la escasez hídrica en Chile con un modelo de simulación de
9 Dinámica de Sistemas,» *DINAMICA DE SISTEMAS* , 2015.
]
- [D. Ibarra Vega, J. M. Redondo y G. Olivar , «Tendencias del consumo de agua en la
1 producción de bioetanol en Colombia,» *Ambiente y Desarrollo* , vol. XXI , nº 41, 2017.
0
]
- [C. Joya, *Análisis y diseño de políticas para el control y regulación hidrográfica del*
1 *cauce del Río Bogotá en las cuencas Alta, Media y Baja, utilizando Dinámica de*
1 *Sistemas*, Bogotá D.C: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2015.
]
- [E. Bakhshianlamouki, S. Masia, P. Karimi, P. Van Der Zaag y J. Susnik, «Un modelo de
1 dinámica de sistemas para cuantificar los impactos de la restauración medidas sobre el
2 nexo agua-energía-alimentos en la cuenca del lago Urmia, Irán,» *Science od the Total*
] *Environment* , 2020.
- [S. De Stercke, A. Mijic, W. Buytaert y V. Chaturvedi, «Modelling the dynamic
1 interactions between London's water and energy systems from an end-use
3 perspective,» *Applied Energy*, pp. 615-626, 2018.

-]
- [G. González, A. Aldana y I. Huertas, «Simulación del consumo energético e hídrico en la empresa Inversiones Aldemar bajo propuestas de sostenibilidad,» *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 2021.
-]
- [UNESCO World Water Assessment Programme, The United Nations world water development report 2020: water and climate change, Francia: UNESCO, 2020.
- 5
-]
- [M. Ballesteros , V. Arroyo y A. Mejía , « Inseguridad Económica del Agua en Latinoamérica: de la abundancia a la inseguridad,» *Carlota Real, ejecutiva de Desarrollo Social CAF*, 2015.
-]
- [IDEAM, «Sistema de información ambiental de Colombia,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.siac.gov.co/ofertaagua>. [Último acceso: 9 mayo 2020].
- 7
-]
- [V. Y. D. T. MINISTERIO DE AMBIENTE, Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, Bogotá, D.C: Ministerio de Ambiente , Vivienda y Desarrollo Territorial , 2010, p. 124.
-]
- [-Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica, «ACOLGEN,» [En línea]. Available: <https://www.acolgen.org.co/>. [Último acceso: Mayo 2020].
- 9
-]
- [R. C. Bu, de *Simulación un enfoque práctico*, Mexico, Limusa, 1993, pp. 12-14.
- 2
- 0
-]
- [J. Aguirre y B. Lizeth, *Propuesta de Sostenibilidad Energética e Hídrica por medio de un proceso de Proyección de Consumo mediante el uso del Software Vensim*, Bogotá: Universidad Libre , 2021.
-]
- [P. Martínez, *Usos Finales de Energía Eléctrica y GLP en el Canton Cuenca. Escenarios al Año 2015*, Azuay: Universidad de Cuenca, 2010.
- 2
-]
- [J. Escobar, N. Reol, C. Cristina, X. Martí, Y. Larruy y C. Pilar, *La electricidad. El recorrido de la Energía*, Madrid: E.I.S.E. Doménech, S.A, 2002.
- 3
-]
- [BP, *Statistical Review of World Energy June 2017*, 2017.
- 2
- 4
-]
- [E. González, V. Castro, H. Crisóstomo, G. Navarro, B. Olivos, M. Palomino, S. Possa, C. Regalado, A. Villar y C. Soria, *La matriz energética global y sus tendencias*, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017.

-]

[M. C. Arango, «Grupo Bancolombia,» 05 Marzo 2019. [En línea]. Available:

2 <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital->

6 [inteligente/especiales/especial-energia-2019/panomara-energetico-colombia](https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/especiales/especial-energia-2019/panomara-energetico-colombia). [Último

] acceso: 15 Septiembre 2020].

[Campetrol, *Transformación energética en Colombia. Una Visión de Campetrol*, Bogotá

2 D.C, 2019.

7

]

[C. A. O. Rosado, *La consulta popular ante los impactos ambientales de la construcción

2 de Proyectos Hidroeléctricos en Colombia. Estudio del caso de la hidroeléctrica El

8 Quimbo*, Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2018.

]

[E. Ú. Montoya, *Impactos Sociales y económicos de la hidroeléctrica en Ituango*,

2 Medellín: Universidad de Medellín. Facultad de Ciencias Económicas, Administrativas y

9 Contables, 2014.

]

[E. P. Anderson, *Desarrollo hidroeléctrico y servicios ecosistémicos en Centroamerica*,

3 Banco Interamericano de Desarrollo, 2013.

0

]

[H. A. S. Valbuena, *Enfoque Ambiental de Los problemas del Recurso Hidrico*, Bogotá

3 d.c: Corporación Autónoma Regional de Cundinaarca - CAR, 1999.

1

]

[A. Martínez, *Fctibilidad de implementación de u sistema de generación de potencia

3 descentralizado basado en recursos renovables en la Universidad Libre Sede Bosque

2 Popular*, Bogotá D.C: Universidad Libre, 2016.

]

[R. Schumann y S. Consulting, «¿Qué es la Energía Fotovoltaica?,» Diciembre 2005.

3 [En línea]. Available: [https://www.agenergia.org/wp-](https://www.agenergia.org/wp-content/uploads/2018/05/1234263746_Qu__es_la_energ_a_fv_ITER.pdf)

3 [content/uploads/2018/05/1234263746_Qu__es_la_energ_a_fv_ITER.pdf](https://www.agenergia.org/wp-content/uploads/2018/05/1234263746_Qu__es_la_energ_a_fv_ITER.pdf). [Último

] acceso: 7 Enero 2021].

[Naciones Unidas, «Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano,» [En línea]. Available:

3 <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>. [Último acceso: 29

4 Octubre 2020].

]

[A. Frenández Cirelli, «El agua: un recurso esencial,» *Química Viva*, vol. 11, nº 3, pp.

3 147-170, 2012.

5

]

[UNESCO, «Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los

3 Recursos Hidricos 2019,» Place de Fontenoy, Paris, 2019.

6

]

[Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura,

3 «AQUASTAT- Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la

7 agricultura,» [En línea]. Available: <http://www.fao.org/aquastat/es/databases/dams>.

-] [Último acceso: 29 Octubre 2020].
- [A. Franek, E. Koncagul, R. Connor y D. Hunziker, «Informe de las Naciones Unidas 3 sobre los recursos hídricos en el mundo 2015,» UNESCO, Perusa, 2015.
8
]
- [M. Otalora y J. Hernandez, *Estimación de los índices hídricos (IUA, IRH, IVH) y 3 formulación de medidas para la mitigación del desabastecimiento en la Subcuenca 9 arroyo grande corozal (2502-01-07) de la Cuenca Rio Bajo San Jorge, Bogotá D.C:*
] Universidad Católica de Colombia, 2018.
- [M. d. A. y. D. Sostenible, «Diagnostico del Recurso Hidrico,» [En línea]. Available:
4 <https://www.minambiente.gov.co/index.php/sala-de-prensa/38-gestion-integral-del-0-recurso-hidrico-articulos/532-plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-20>. [Último
] acceso: 29 Octubre 2020].
- [G. Facts, Naciones Unidas, 2009. [En línea]. Available:
4 <https://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/recursos-hidricos-foldout.pdf>. [Último
1 acceso: 24 Septiembre 2020].
]
- [M. d. A. y. D. Sostenible, «Minambiente,» 24 Septiembre 2020. [En línea]. Available:
4 <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico>. [Último
2 acceso: 24 Septiembre 2020].
]
- [M. Reyes y J. Rubio , *DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y 4 APROVECHAMIENTO DE*, Bogotá : Universidad Católica de Colombia , 2014.
3
]
- [D. Ibarra Vega y J. Redondo, « Dinámica de Sistemas, una herramienta para la,» *Luna 4 Azul*, nº 41, pp. 152-164, 2015.
4
]
- [A. -. Innova, «ATC - Innova. Distribuidor Oficial de Vensim,» [En línea]. Available:
4 http://www.dinamica-de-sistemas.com/libros/diagrama_causal.htm. [Último acceso: 09
5 Septiembre 2020].
]
- [M. Xu, *Modelos de Gestión de Existencias de una Empresa a través de Dinámica de 4 Sistemas*, F. d. C. S. y. Jurídicas, Ed., Jaén: Universidad de Jaén, 2014.
6
]
- [J. García, «Dinamica de Sistemas,» 2021. [En línea]. Available: <http://www.dinamica-4-de-sistemas.com/libros/sistemas.htm>. [Último acceso: 10 Enero 2021].
7
]
- [M. Zevallos y D. Gómez, «La Dinámica de Sistemas y los límites del crecimiento,»
4 *Sistémica: Revista especializada de la Facultad de Ingeniería, Nutrición y 8 Administración* , nº 7, 2018.
]
- [S. Martínez y S. Arango, «Modelo de Simulación Dinámica para evaluar la inversión en 4 capacidades de Innovación Tecnológica en la Industria Colombiana de Software,»
9 *Resvist Espacios*, vol. 38, nº 09, p. 3, 2017.

-]

[H. Andrade, E. Lince, A. Cuadrado y A. Quintero, «Evolución: Herramienta software para modelado y simulación con Dinámica de Sistemas,» *Revista de Dinámica de Sistemas*, vol. 4, pp. 1-27, 2011.

]

[Dinámica de Sistemas, *Software y Demos de Dinámica de Sistemas*, ATC-Innova, 2021.

1

]

[Universidad de Salamanca, *Herramientas de Simulación Dinámica*, España, 2010.

5

2

]

[VENSIM, *Guía del Usuario Versión 5*, Vensim Ambiente de Simulación Ventana, 2002.

5

3

]

[U. d. Salamanca, «Centro de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico del Agua,» [En línea]. Available: <https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/software/VENSIM/Vensim.PDF>. [Último acceso: 04 Noviembre 2020].

4

]

[S. Dormido y F. Morilla, *Tutorial de Vensim*, Madrid, España, 2005.

5

5

]

[J. L. Abreu Leon , «auxiliares,» 2015. [En línea]. Available: http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales_profesor/Documentacion_4D/doc/Auxiliares.html#:~:text=Las%20variables%20son%20los%20auxiliares,lista%20o%20de%20x%20e%20y.&text=En%20otras%20palabras%20las%20variables,expresiones%20m%C3%A1s%20o%20. [Último acceso: 12 enero 2021].

5

6

]

[A. Moraleda y C. Villalba, «Métodos de simulación y modelado,» septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://books.google.com.co/books?id=hUkYDQAAQBAJ&pg=PT505&dq=variable+de+estado+simulacion&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjFwOWXnpfuAhVoTd8KHbUoAxQQ6AEwAXoECAMQAg#v=onepage&q=variable%20de%20estado%20simulacion&f=false>. [Último acceso: 12 enero 2021].

7

]

[ATC-Innova, «Prestaciones del software Vensim,» [En línea]. Available: http://atc-innova.com/atc_vensim_todo.htm. [Último acceso: 04 Noviembre 2020].

5

8

]

[J. L. Fernandez y G. Coronado , «FISICALAB,» abril 2013. [En línea]. Available: <https://www.fiscalab.com/apartado/errores-absoluto-relativos>. [Último acceso: 12 enero 2021].

5

9

]

[J. Sachs, *The Age of Sustainable Development*, New York: DEUSTO, 2014.

6

0

]

- [ONU, «Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo,» ONU, [En línea].
6 Available: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/2030-agenda-for-sustainable-1-development.html>. [Último acceso: 20 Octubre 2020].
]
- [ONU, La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible,
6 ONU, 2015.
2
]
- [H. García, N. Martínez y J. Farfán, "Evaluación de Potencial de Crecimiento Verde
6 (EPCV) para Colombia: Diálogo para la Identificación del Potencial de Crecimiento
3 Verde, Bogotá, Colombia: Libro Fedesarrollo, 2016.
]
- [Departamento Nacional de Planeación, «Política de Crecimiento Verde,»
6 Departamento Nacional de Planeación, 20 Octubre 2020. [En línea]. Available:
4 <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Paginas/Politica-crecimiento-verde.aspx>.
] [Último acceso: 22 Octubre 2020].
- [Departamento Nacional de Planeación, «COMPES 3932,» 10 Julio 2018. [En línea].
6 Available: <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/Pol%C3%ADtica%20CONPES%203934/CONPES%203934%20-%20Pol%C3%ADtica%20de%20Crecimiento%20Verde.pdf>. [Último acceso: 22 Octubre 2020].
- [Agencia Andaluza de la Energía, «Agencia Andaluza de la Energía,» Enero 2021. [En
6 línea]. Available: <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/informacion-energetica/energias-renovables/energia-electrica-con-renovables>. [Último acceso: 14
6 Enero 2021].
- [J. Gómez, J. Murcia y I. Cabezas, *La energía solar fotovoltaica en Colombia: Potenciales, antecedentes y perspectivas*, Bogotá D.C: Universidad Santo Tomas,
7 2017.
]
- [M. Gualteros y H. Enrique, «Revisión de las regulaciones e incentivos para el uso de
6 las energías renovables en Colombia,» *Jurídicas*, vol. 10, nº 1, pp. 209-224, 2013.
8
]
- [CONPES, «CONCEPTO FAVORABLE A LA NACIÓN PARA OTORGAR GARANTÍA Y
6 CELEBRAR OPERACIONES ASIMILADAS A OPERACIONES DE CRÉDITO PÚBLICO
9 EXTERNO A FAVOR DE LA FINANCIERA DE DESARROLLO NACIONAL (FDN)
] HASTA POR LA SUMA DE USD 53,3 MILLONES, O SU EQUIVALENTE EN OTRAS
MONEDAS,» 13 Septiembre 2019. [En línea]. Available:
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3969.pdf>. [Último
acceso: 14 Enero 2021].
- [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Ministerio de Ambiente y Desarrollo
7 Sostenible,» 2021. [En línea]. Available:
0 <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/administracion-del-recurso-hidrico/demanda/uso-eficiente-y-ahorro-de-agua>.
] [Último acceso: 18 Enero 2021].
- [M. Cristina y J. Rubio, *Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de
7 aguas lluvias*, Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia, 2014.
1

-]
- [L. Varón, «La producción más limpia como estrategia de gestión ambiental,» *Rev.P+L*, 7 vol. 8, nº 1, pp. 1-2, 2013.
- 2
-]
- [Centro Nacional de Producción mas Limpia, *Guia de producción mas limpia pra el 7 sector de recubrimiento electrolíticos en Colombia*, Bogotá, 2011.
- 3
-]
- [L. Garzón y A. Gutierrez, *Estrategias de producción mas limpia para el proceso de 7 cromado en la empresa Zinc. LTDA*, Bogotá: Universidad Libre, 2016.
- 4
-]
- [J. Arrieta, «Secretaria Distrital de Ambiente,» Abril 2015. [En línea]. Available: 7 http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=38f763fe-6a37-453d-580c6-eaa1663ce349&groupId=24732#:~:text=%C2%BFQU%C3%89%20ES%20UN%20ECO MAPA%3F&text=cr%C3%ADticos%20ambientales.. [Último acceso: 7 Enero 2021].
-]
- [N. Espitia , *Propuesta de gestion ambiental para la empresa siprocas Eu del sector 7 ganadero en Hato Corozal-Casanare*, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2010.
- 6
-]
- [S. D. d. Ambiente, *Importancia de la producción más limpia en IPS*, Bogotá: Secretaría 7 Distrital de Ambiente, 2021.
- 7
-]
- [J. Ruíz y V. Ramírez, *Formulaación y Evealuación de alternativas de producción más 7 limpia en una procesadora avícola en la ciudad de Bogotá D.C*, Bogotá D.C: 8 Universidad de la Salle. Ciencia Unisalle, 2016.
-]
- [X. Ruiz, *Guía Análisis DOFA*, Bgotá: Uiversidad Nacional, 2012.
- 7
- 9
-]
- [Alcaldia de Bogotá D.C, «Energía Eléctrica uso racional y eficiente,» [En línea]. 8 Available: 0 <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=24354>.] [Último acceso: Noviembre 2020].
- [«Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible,» 26 Enero 2021. [En línea]. Available: 8 Legislación del agua | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 1 (minambiente.gov.co). [Último acceso: Noviembre 2020].
-]
- [R. Sampieri, C. Fernandez y M. Baptista, *Metodología de la investigación Sexta 8 Edición*, Mexico D.F, 2003.
- 2
-]
- [W. Ortiz y V. William, *Propuesta para la captación y uso de aguas lluvias en las 8 intalaciones de la Universidad Catolica de Colombia a partir de un modelo físico de*

- 3 recolección de agua., Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2017.
]
- [R. Torres, «La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente,»
8 *Riha*, vol. 40, nº 2, pp. 125-139, 2019.
4
]
- [Y. Barlas, «Formal aspects of model validity and validation in system dynamics,»
8 *System*, vol. 12, nº 3, pp. 183-210, 1996.
5
]
- [J. M. R. Ortigón, *Modelado de Mercados de Electricidad*, Manizales: Universidad
8 Nacional de Colombia, 2012.
6
]
- [F. Morilla, «UNED,» Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática. Departamento
8 de Informática y Automática. , [En línea]. Available:
7 http://www.dia.uned.es/~fmorilla/Web_FMorilla_Julio_2013/MaterialDidactico/Vensim.pdf
] f. [Último acceso: 09 Septiembre 2020].
- [[Grabación de sonido].
8
8
]
- [C. A. O. Rosado, *La consulta popular ante los impactos ambientales de la construcción
8 de Proyectos Hidroeléctricos en Colombia. Estudio del Caso de la Hidroeléctrica El
9 Quimbo.*, Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2018.
]
- [Proyecto EnDev/GIZ, «Manual de instalación de un sistema fotovoltaico domiciliario,»
9 marzo 2013. [En línea]. Available:
0 [https://energypedia.info/images/0/0b/Gu%C3%ADa_de_instalaci%C3%B3n_de_SFD_-_](https://energypedia.info/images/0/0b/Gu%C3%ADa_de_instalaci%C3%B3n_de_SFD_-_2013.pdf)
] [_2013.pdf](https://energypedia.info/images/0/0b/Gu%C3%ADa_de_instalaci%C3%B3n_de_SFD_-_2013.pdf). [Último acceso: 9 enero 2021].
- [Instituto Geográfico Agustín Codazzi, «IGAC,» Marzo 2014. [En línea]. Available:
9 [http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/Programas/PR20604-](http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/Programas/PR20604-104-14V1%20Programa%20Ahorro%20y%20Uso%20Eficiente%20de%20la%20Energia.pdf)
1 04-
] [14V1%20Programa%20Ahorro%20y%20Uso%20Eficiente%20de%20la%20Energia.pdf](http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/Programas/PR20604-104-14V1%20Programa%20Ahorro%20y%20Uso%20Eficiente%20de%20la%20Energia.pdf)
. [Último acceso: 14 Enero 2021].
- [Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, «UNGRD,» 30 Abril 2015.
9 [En línea]. Available:
2 [http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Lineamientos_Int/PRO-1300-SIPG-](http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Lineamientos_Int/PRO-1300-SIPG-04_Uso_eficiente_de_Energia-V3.pdf)
] [04_Uso_eficiente_de_Energia-V3.pdf](http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Lineamientos_Int/PRO-1300-SIPG-04_Uso_eficiente_de_Energia-V3.pdf). [Último acceso: 14 Enero 2021].
[
9
3
]

ANEXOS

- *Anexo 1. Base de datos de Arte Didactica S.A.S*

A1. Base de datos Arte Didactica S.A.S

- *Anexo 2. Ecomapas Arte Didactica S.A.S*

A2. Ecomapas Arte Didactica S.A.S..pdf

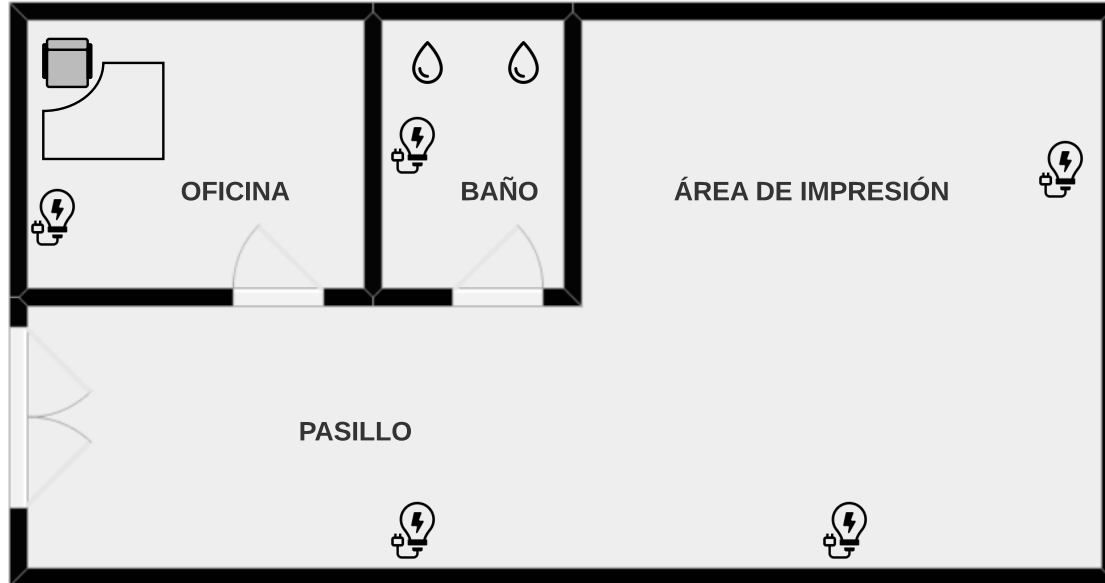
- *Anexo 3. Formato de Uso de agua Arte Didáctica S.A.S*

A3. Formatos Uso de Agua Arte Didactica S.A.S


- *Anexo 4. Programas Ambientales Arte Didactica S.A.S*


A4. Programas Ambientales Arte Didactica S.A

ECOMAPA DE LA EMPRESA ARTE DIDACTICA S.A.S: SEDE DE IMPRESIÓN

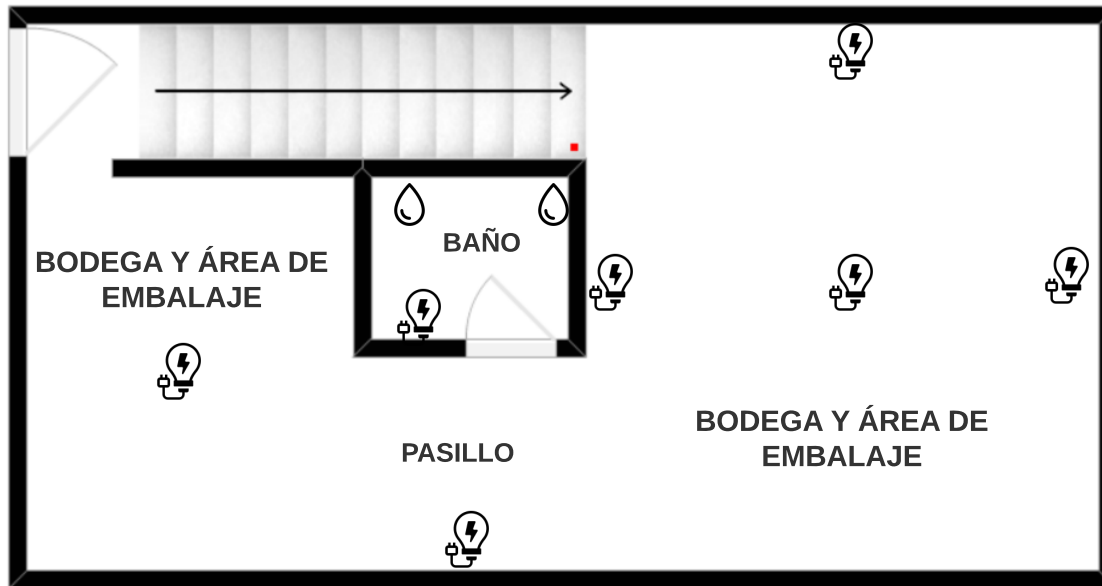


CONVENCIONES


 Puntos de consumo de energía


 Puntos de consumo de agua

ECOMAPA DE LA EMPRESA ARTE DIDACTICA S.A.S: SEDE DE PRINCIPAL
PLANTA 1

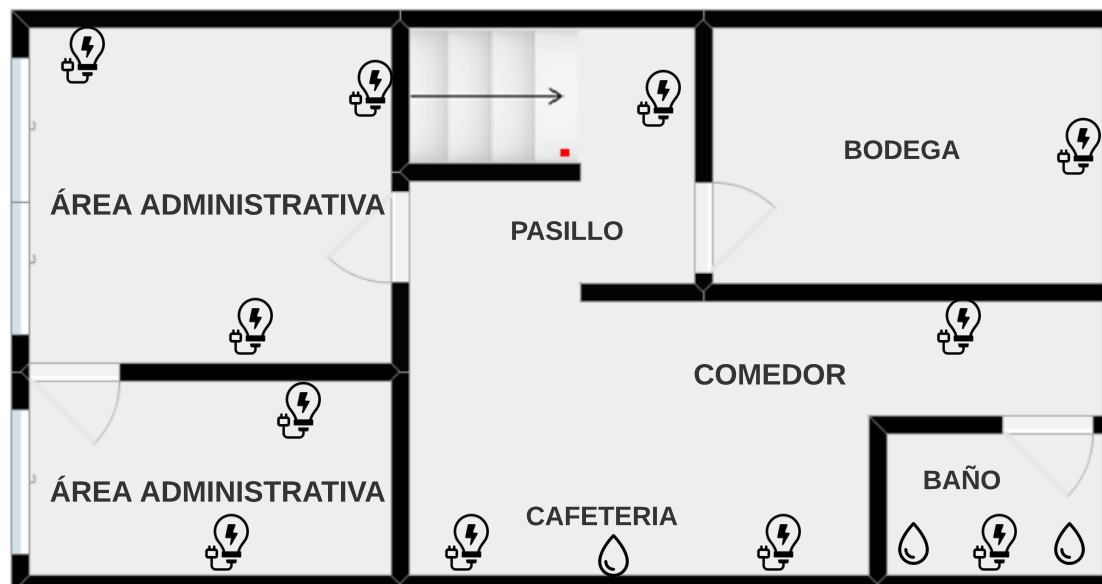


CONVENCIONES


 Puntos de consumo de energía


 Puntos de consumo de agua

ECOMAPA DE LA EMPRESA ARTE DIDACTICA S.A.S: SEDE DE PRINCIPAL
PLANTA 2



CONVENCIONES

 Puntos de consumo de energía

 Puntos de consumo de agua