

**MODELO DE COSTOS ÓPTIMO PARA EL DISEÑO DE INTERIORES  
COMERCIALES AMBIENTALMENTE SOSTENIBLES**



**ÁNGELA DÍAZ LABRADOR**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ D.C.  
2012**

**MODELO DE COSTOS ÓPTIMO PARA EL DISEÑO DE INTERIORES  
COMERCIALES AMBIENTALMENTE SOSTENIBLES**

**ÁNGELA DÍAZ LABRADOR**

**TRABAJO DE GRADO**

**DIRECTOR:**

**CARLOS ALBERTO BULA GAZABON**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ D.C.  
2012**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVO GENERAL.....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO DE GRADO .....	12
1.1. Planteamiento Del Problema .....	12
1.2. Justificación.....	14
1.3. Proyectar Gerencia Diseño Y Construcción.....	15
2. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Estado Del Arte.....	18
2.2. Certificación Liderazgo En Energía Y Diseño Ambiental “LEED” .....	20
2.3. LEED Para Interiores Comerciales.....	21
2.3.1. Que Es El Sistema Leed Para Interiores Comerciales .....	21
2.2.2. Categorías De Certificación .....	22
2.2.3 Estructura De La Lista De Puntos De La Certificación Leed Para Interiores Comerciales .....	22
2.3 Desarrollo Sostenible .....	24
2.4 Investigación De Operaciones .....	25
2.4.1 Componentes De Un Modelo De Optimización.....	25
3. CONTEXTUALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL DISEÑO DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN. ....	27
3.1 Características Del Problema Planteado.....	27
3.2 La Importancia De Tener Interiores Sostenibles .....	29
3.3. Criterios Para La Escogencia De Las Tecnologías Para El Modelo De Optimización De Acuerdo A Las Secciones LEED. ....	30
4. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE MODELOS DE OPTIMIZACIÓN.....	33
4.1 Modelos De Optimización.....	33
4.1.1. Programación Lineal - Entera Binaria (PEB).....	34
4.1.2. Problema de transporte .....	35
4.1.3. Problema de asignación .....	36

4.1.4.	Problema de la mochila (knapsackproblem) .....	39
5.	FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL PROBLEMA .....	42
5.1	Pasos Para La Formulación Del Problema. ....	42
5.2.	Componentes Y Formulación Matemática Del Modelo De Optimización Para Diseñar Interiores Comerciales Ambientalmente Sostenibles .....	43
5.2.1	Conjuntos .....	43
5.2.2.	Parámetros .....	44
5.2.3	VARIABLES DE DECISIÓN.....	44
5.2.4	Restricciones.....	45
5.2.5	Función Objetivo: .....	46
5.3.	Modelo Costos Óptimo Para El Diseño De Interiores Comerciales Ambientalmente Sostenible .....	47
5.4.	Beneficios De Utilizar El Modelo Diseñado .....	48
6.	VALIDACIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN .....	50
6.1.	Contextualización Del Caso Específico - Restaurante .....	50
6.2	Herramienta Para Conocer Los Costos Óptimos.....	52
7.	BENEFICIOS DE DISEÑAR INTERIORES COMERCIALES AMBIENTALMENTE SOSTENIBLES .....	62
7.1	Beneficios Cualitativos.....	62
7.2	Beneficios Cuantitativos .....	63
7.2.1.	Beneficios Para La Categoría Básica .....	69
•	Beneficios Por Concepto Del Servicio De Energía – Categoría Básica... 70	
•	Beneficios Por Concepto Del Servicio De Agua - Categoría Básica..... 73	
•	Beneficios Por Conceptos De Mantenimiento – Categoría Básica ..... 74	
•	Beneficios Totales Para La Categoría Básica..... 77	
7.2.2	Beneficios Para La Categoría Plata .....	78
•	Beneficios Por Concepto Del Servicio De Energía – Categoría Plata..... 79	
•	Beneficios Por Concepto Del Servicio De Agua - Categoría Plata..... 80	
•	Beneficios Por Conceptos De Mantenimiento – Categoría Plata ..... 81	
•	Beneficios Totales Para La Categoría Plata .....	83
7.2.3	Beneficios Para La Categoría Oro.....	84

•	Beneficios Por Concepto Del Servicio De Energía – Categoría Oro.....	85
•	Beneficios Por Concepto Del Servicio De Agua - Categoría Oro.....	86
•	Beneficios Por Conceptos De Mantenimiento – Categoría Oro .....	87
7.2.4	Beneficios Para La Categoría Platino.....	89
•	Beneficios Por Concepto Del Servicio Público De Energía Eléctrica – Categoría Platino .....	90
•	Beneficios Por Concepto Del Servicio De Agua - Categoría Platino.....	91
•	Beneficios Por Conceptos De Mantenimiento – Categoría Platino .....	92
8.	INDICADORES.....	97
8.1	Utilidad De Los Indicadores .....	97
8.2.	Características De Los Indicadores .....	98
8.3.	Indicadores Seleccionados De Acuerdo Al Impacto Ambiental .....	99
8.3.2.	Indicador: Consumo De Energía .....	100
8.3.3.	Indicador: Uso De Energía Renovable .....	101
8.3.4.	Indicador: Uso De Materiales .....	102
8.3.5.	Indicador: Desechos Generados.....	103
8.3.6.	Indicador: Quejas O Devoluciones.....	104
9.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO .....	105
10.	CONCLUSIONES .....	106
11.	RECOMENDACIONES.....	107
	BIBLIOGRAFÍA .....	108

## LISTADO DE IMAGENES

Imagen 1: Secciones por las que se estructura la certificación LEED .....	22
Imagen 2: Estructura de la lista de verificación de los puntos LEED para interiores. Elaboración propia. ....	23
Imagen 3: Formato general de un modelo de optimización (Taha, 2004).....	26
Imagen 4: Representación de red del problema planteado como modelo de asignación. Elaboración propia. ....	39
Imagen 5: Representación del problema planteado como un problema mochila. Elaboración propia. ....	41

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Características del caso particular-Restaurante.....	50
Tabla 2: Ficha técnica tecnologías anexo c; elaboración propia. ....	64
Tabla 3: Costo adicional de implementar tecnologías verdes por categoría, elaboración propia. ....	64
Tabla 4: Consumo de energía, agua y mantenimiento actual: elaboración propia con datos suministrados por PROYECTAR GDC.....	65
Tabla 5: Tecnologías para la categoría básica arrojadas por el modelo de optimización. Elaboración propia .....	70
Tabla 6: Tecnologías con beneficios energéticos para la categoría básica. Elaboración propia .....	71
Tabla 7: Tecnologías que permiten generar un ahorro de agua para la categoría básica. Elaboración propia. ....	73
Tabla 8: Tecnologías que permiten un ahorro en los gastos de mantenimiento para la certificación básica. Elaboración propia .....	74
Tabla 9: Tecnologías arrojadas por el modelo de optimización para la categoría plata. Elaboración propia. ....	78
Tabla 10: Costos de implementación por tecnología para la categoría Oro. Arrojadas por el modelo de optimización.....	84
Tabla 11: Costos de implementación por tecnología para la categoría platino. ....	89

## LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1: Restricción de un modelo de transporte .....	35
Ecuación 2: Función objetivo de un modelo de asignación. ....	37
Ecuación 3: Restricciones de un problema de asignación .....	37
Ecuación 4: Primera restricción del modelo diseñado. ....	45
Ecuación 5: Segunda restricción del modelo diseñado. ....	45
Ecuación 6: Tercera restricción del modelo diseñado. ....	46
Ecuación 7: Cuarta Restricción del modelo diseñado. ....	46
Ecuación 8: Quinta Restricción .....	46
Ecuación 9: Sexta restricción del modelo diseñado. ....	46
Ecuación 10: Función Objetivo del modelo diseñado. ....	46

## LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Distribución de la energía para locales comerciales, Fuente: Dpto. de física UNAL. ....	66
Gráfica 2: Proporción del consumo actual de energía. Elaboración propia de acuerdo con los datos suministrados por PROYECTAR GDC. ....	67
Gráfica 3: Proporción de los costos de mantenimiento. Elaboración propia de acuerdo a los datos suministrados por PROYECTAR GDC. ....	68
Gráfica 4: Distribución de mantenimiento actual en el año. Elaboración propia de acuerdo con los datos suministrados por PROYECTAR GDC. ....	69
Gráfica 5: Porcentaje de ahorro en energía por tecnología para la categoría básica. Elaboración propia. ....	71
Gráfica 6: Consumo de energía anual VS presupuesto en pesos (\$). Elaboración propia. ....	72
Gráfica 7: Porcentaje de ahorro en agua por tecnología – básica. Elaboración propia. ....	73
Gráfica 8: Consumo de agua actual VS propuesto en pesos (\$). Elaboración propia. ..	74
Gráfica 9: Porcentaje de ahorro en mantenimiento programado por tecnología. Elaboración propia. ....	75
Gráfica 10: Gasto por concepto de mantenimiento programado, actual vs propuesto. Elaboración propia. ....	75
Gráfica 11: Gasto por concepto de mantenimiento correctivo anual vs propuesto. Elaboración propia. ....	76
Gráfica 12: Gasto por concepto de mantenimiento correctivo actual vs propuesto. Elaboración propia. ....	76
Gráfica 13: Gastos de mantenimiento actual vs propuesto para la categoría básica. Elaboración propia. ....	77
Gráfica 14: Consumo tota en servicios y mantenimiento. Actual vs propuesto para la categoría básica. Elaboración propia. ....	77

Gráfica 15: Consumo de energía total al año para la categoría Plata. Elaboración propia. ....	79
Gráfica 16: Consumo de agua al año para la categoría plata. Elaboración propia. ....	80
Gráfica 17: Gasto por mantenimiento programado mensual actual vs propuesto. ....	81
Gráfica 18: Porcentaje de ahorro adicional mantenimiento programado. ....	81
Gráfica 19: Porcentaje de ahorro correctivo. ....	82
Gráfica 20: Gasto en mantenimiento correctivo actual vs propuesto. ....	82
Gráfica 21: Total gastos de mantenimiento mensual actual y propuesto. ....	83
Gráfica 22: Consumo total al año en servicios y mantenimiento actual vs propuesto-plata. ....	83
Gráfica 23: Porcentaje adicional de ahorro energético. ....	85
Gráfica 24: Consumo de la energía mensual vs propuesto - Oro. ....	85
Gráfica 26: Consumo de agua bimensual actual vs propuesto-Oro. ....	86
Gráfica 25: Porcentaje de ahorro adicional de agua. ....	86
Gráfica 27: Costos de mantenimiento correctivo actual vs propuesto-Oro. ....	87
Gráfica 28: Gasto mensual de mantenimiento actual vs propuesto Oro. ....	88
Gráfica 29: Consumo total al año en servicios y mantenimiento actual vs propuesto. ..	88
Gráfica 30: Porcentaje de ahorro adicional en el consumo de energía. ....	90
Gráfica 31: Consumo de energía mensual actual vs propuesto-Platino. ....	90
Gráfica 32: Porcentaje adicional de ahorro en el consumo de agua, Platino. ....	91
Gráfica 33: Consumo de agua bimensual actual vs propuesto-Platino. ....	91
Gráfica 34: Porcentaje de ahorro por tecnología para el mantenimiento programado-Platino. ....	92
Gráfica 35: Porcentaje de ahorro en el mantenimiento preventivo - Platino. ....	93
Gráfica 36: Gastos en el mantenimiento preventivo actual vs propuesto – Platino. ....	93
Gráfica 37: Porcentaje de ahorro en el mantenimiento correctivo-Platino. ....	94
Gráfica 38: Gastos en mantenimiento correctivo actual vs propuesto-Platino. ....	94
Gráfica 39: Gastos de mantenimiento total actual vs propuesto Platino. ....	95
Gráfica 40: Consumo total al año en servicio y mantenimiento actual vs propuesto-Platino. ....	95
Gráfica 41: Consumo total al año actual vs básica. ....	96
Gráfica 42: Consumo total al año actual vs plata. ....	96
Gráfica 43: Consumo total al año actual vs oro. ....	96
Gráfica 44: Consumo total año actual vs platino. ....	96

## **LISTADO DE ANEXOS**

- ANEXO A: Puntuación LEED para interiores Comerciales
- ANEXO B: Lista de verificación LEED para interiores comerciales
- ANEXO C: Ficha técnica de tecnologías
- ANEXO D: Matriz de puntuación Obtenida
- ANEXO E: Matriz de prerequisites
- ANEXO F: Criterios y secciones LEED para interiores comerciales
- ANEXO G: Manual de uso de la herramienta de modelación
- ANEXO H: Costos de diseñar interiores sin LEED
- ANEXO I: Costos de diseñar interiores LEED Básica.
- ANEXO J: Costos de diseñar interiores LEED Plata.
- ANEXO K: Costos de diseñar interiores LEED Oro.
- ANEXO L: Costos de diseñar interiores LEED Platino.
- ANEXO M: Consumo en servicios y mantenimiento Actuales
- ANEXO N: Consumos propuestos para la categoría básica.
- ANEXO O: Consumos propuestos para la categoría Plata
- ANEXO P: Consumos propuestos para la categoría Oro.
- ANEXO Q: Consumos propuestos para la categoría Platino.

## INTRODUCCIÓN

Es un hecho: crear interiores comerciales ambientalmente sostenibles genera ventajas que favorecen la salud humana y el medio ambiente. Así mismo permiten reducir costos de servicios y de mantenimiento en las instalaciones.

La construcción es uno de los sectores que más contribuye al crecimiento económico del país, pero que a su vez genera efectos ambientales negativos que inciden altamente en el aspecto financiero debido a sus elevados costos de sostenibilidad. El modelo de optimización que se presenta en este proyecto busca reducir esos impactos negativos. Se ha diseñado inicialmente como un modelo piloto para la empresa Proyectar GDC, dedicada a la gerencia, diseño y construcción urbanística, con miras a ser utilizado en proyectos posteriores. Es aquí donde surge el interés de investigar cómo lograr interiores comerciales ambientalmente sostenibles evaluando el costo óptimo para alcanzarlo.

Para el desarrollo del presente trabajo se utiliza como guía la certificación LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, por sus siglas en inglés). LEED es un reconocido sistema internacional de certificaciones en edificaciones verdes que evalúa todos los aspectos ambientales relacionados con la construcción.

El desarrollo de este trabajo es una oportunidad para destacar las ventajas ambientales y financieras implícitas en este tipo de construcción. Dentro estas ventajas se encuentran una mayor productividad, aumento de la competitividad de la empresa en el mercado, y de manera esencial, el ahorro de dinero en los costos de mantenimiento y servicios.

Este proyecto está conformado por siete capítulos, los cuales se encuentran estructurados de la siguiente manera: En el capítulo primero se describe la certificación LEED para interiores comerciales, su estructura, la importancia de tener espacios interiores verdes, y los principios de investigación de operaciones. En el segundo capítulo se describen las características del problema que se pretende resolver. El capítulo tercero se centra en la investigación correspondiente a modelos de optimización que de manera eventual se podrían ajustar a las características del proyecto. En el capítulo cuarto se muestra el diseño del modelo de optimización de forma matemática. Esto permitirá conocer los costos óptimos para lograr una certificación para cada una de las categorías por las que se estructura LEED (básica, plata, oro, platino). En el capítulo quinto se presenta la validación del modelo mediante un caso específico. Finalmente, en los dos últimos capítulos, se darán a conocer los beneficios obtenidos a partir de la inversión inicial para el caso seleccionado. También se conocerán los indicadores eco-eficientes que conllevan a proporcionar el seguimiento y control tendientes a conocer los beneficios generados a partir de la aplicación del modelo.

## **OBJETIVO GENERAL**

Definir un modelo de costos óptimos a partir de las variables definidas por la certificación Leadership in Energy and Environmental Design (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, LEED, por sus siglas en inglés) para el diseño de interiores sostenibles de uso comercial en Bogotá, para la empresa “Proyectar, gerencia, diseño y construcción”

### ***OBJETIVOS ESPECÍFICOS***

- Revisar los diferentes tipos de modelo de optimización y las variables involucradas dentro de este (función objetivo, variables y restricciones) teniendo en cuenta los criterios LEED.
- Diseñar un modelo de optimización involucrando los factores y criterios revisados, que permitan conocer los costos de diseño para interiores comerciales en Bogotá, en cualquiera de sus diferentes categorías (básica, plata, oro y platino) por las que se estructura la certificación LEED.
- Validar el modelo en un proyecto específico de uso comercial asignado por la empresa “Proyectar, gerencia, diseño y construcción” según sus necesidades, que muestre los costos arrojados por cada una de las categorías de la certificación LEED con el objetivo de lograr espacios sostenibles desde el punto de vista ambiental.
- Presentar los beneficios que se podrían obtener a partir de la inversión inicial para lograr interiores comerciales LEED, a partir del caso seleccionado.
- Revisar y seleccionar los indicadores eco-eficientes que conlleven a proporcionar un seguimiento y control para conocer los beneficios generados a partir de la aplicación del modelo.

# 1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO DE GRADO

## 1.1. Planteamiento Del Problema

El sector de la construcción en Colombia constituye hoy por hoy uno de los factores económicos de mayor crecimiento. Así, por ejemplo, los inicios de proyectos de apartamentos crecieron 50% y los de casas 12% entre abril y junio de 2011<sup>1</sup>. La vivienda representa el 70% del total del área censada, y entre el 50 y 60% del área total está comprendido en oficinas y comercio de acuerdo con CAMACOL (Cámara Colombiana de la construcción). Esto significa que el sector de la construcción no solo genera soluciones de vivienda, industriales y comerciales, sino que es un factor determinante en el fortalecimiento económico empresarial basado en estrategias de desarrollo.

Sin embargo, y si bien es cierto que el sector de la construcción contribuye enormemente al crecimiento económico, también genera efectos ambientales negativos que inciden en aspectos financieros debido a los costos de sostenibilidad. Los beneficios de construir verde se visualizan en la reducción de los costos de operación, incremento en el valor de la edificación, disminución de los costos de sostenibilidad (servicios públicos, prolongación de los periodos de mantenimiento de las instalaciones).

Entonces, ¿cuál sería el costo óptimo para obtener interiores comerciales ambientalmente sostenibles en cualquiera de las categorías en las que se estructura LEED?

Pues bien, dado el fuerte impacto que ha generado el sector de la construcción en el país, es importante construir o rediseñar interiores comerciales pensando en el futuro, implementando tecnologías que generen ahorros en los consumos de servicios como energía y agua, entre otros, y que también reduzcan los impactos ambientales. Los aspectos que permiten disminuir los impactos ambientales están relacionados con la eficiencia en el aprovechamiento del agua, energía e impacto atmosférico, materiales y recursos empleados, calidad del ambiente interior e innovación y proceso de diseño. Todos estos aspectos los evalúa la certificación LEED (Leadership in Energy & environmental design) para generar espacios interiores sostenibles de tipo comercial.

---

<sup>1</sup>Redacción economía y negocios: Construcción de vivienda está acelerada en el país. En: El tiempo.com {en línea}. (mar 08, 2011). Disponible en: <[http://www.eltiempo.com/economia/bienestar/ARTICULO-WEB-NEW\\_NOTA\\_INTERIOR-10315004.html](http://www.eltiempo.com/economia/bienestar/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-10315004.html)>.

La certificación LEED plantea cuatro categorías: básica, plata, oro, y platino, para lograr edificaciones sostenibles. Esta certificación fue creada inicialmente en Estados Unidos para generar estrategias que reduzcan el impacto ambiental. Dadas las utilidades obtenidas, la certificación se ha ido expandiendo internacionalmente, llegando a Colombia como certificación LEED Colombia.

Obtener una certificación LEED Colombia puede resultar costoso debido a las tecnologías y materiales que se tendrían que adoptar para lograr construcciones sostenibles, así como al costo de contratación de personal certificado LEED para que realice el seguimiento y asesoramiento. Sin embargo, y de acuerdo con estudios como el de la Fundación Pensar Verde, realizado en septiembre de 2009<sup>2</sup>, la inversión realizada reducirá entre 30 y 70% del consumo de energía; del 30 al 50% de agua; entre 50 y 90% del costo de los residuos, y el 35% de las emisiones de dióxido de carbono (Co2). Todo esto de acuerdo con cifras obtenidas por la medición del consumo de agua, energía, y peso de los residuos generados en construcciones certificadas en LEED.

Dentro de las debilidades encontradas para construir sosteniblemente está el escaso conocimiento acerca de materiales o tecnologías aptas para lograrlo, las cuales se van a identificar plenamente en este proyecto. Otra de las debilidades es el costo inicial, el cual puede llegar a incrementar el presupuesto total. Este costo inicial se conocerá en el desarrollo de esta propuesta.

Para contribuir con el crecimiento y buen desarrollo económico en el sector de la construcción, es necesario plantear un modelo de optimización que permita establecer la opción que menos costo demanda en el diseño. Esto con el fin de lograr espacios interiores de uso comercial sostenibles en cualquiera de las categorías planteadas por LEED, identificando las tecnologías y/o materiales pertinentes que generen ahorros en servicios y mantenimiento en interiores comerciales.

Para establecer los beneficios generados al adoptar políticas de diseño y construcción sostenibles, se hace necesario investigar los aspectos positivos que traería para el sector comercial la implementación de estas mejoras en su interior, contribuyendo así a la disminución de los costos.

---

<sup>2</sup>Fundación Penar verde, certificación LEED, en [pensarverde.org](http://www.pensarverde.org) {en línea}. (sept 30, 2009). [Disponible en]: <[http://www.pensarverde.org/index.php?option=com\\_content&view=frontpage&limitstart=25](http://www.pensarverde.org/index.php?option=com_content&view=frontpage&limitstart=25)>

## 1.2. Justificación

De manera evidente, el sector de la construcción presenta altos impactos negativos sobre el medio ambiente, desde la extracción de materias primas, pasando por la construcción y hasta en la demolición de edificios. Según el consejo de edificación verde de Estados Unidos, para la construcción se necesitan más de 2 toneladas de materias primas por cada metro cuadrado de vivienda construida, y en términos estadísticos el sector de la construcción es responsable del 50% de los recursos naturales empleados, 40% de la energía consumida y del 50% del total de los residuos generados.

Sin embargo, es posible reducir en gran medida los impactos negativos, asumiendo el control del consumo de recursos mediante el uso de tecnologías adecuadas que suplan las mismas necesidades, y materiales que disminuyan las emisiones generadas, logrando así la generación de interiores sostenibles.

Entonces para contribuir en la reducción de los impactos ambientales utilizando los menores costos posibles, es necesario diseñar un modelo que permita encontrar alternativas de sostenibilidad para interiores de edificaciones. Esto le permitirá a muchas empresas constructoras ofrecer construcciones sostenibles a precios mínimos. Aunque la inversión inicial del proyecto es alta, con el tiempo los beneficios recibidos serán mayores.

La importancia de identificar los aspectos relacionados con la eficiencia energética, uso de energías alternativas, la eficiencia de consumo de agua, el desarrollo sostenible de los espacios libres y la selección de materiales, permitirá mejorar la calidad del ambiente interior y definir las variables a utilizar.

Estas variables del modelo se presentan en forma de tecnologías o materiales que reducen el impacto ambiental en algunos de los criterios mencionados para la certificación LEED para interiores comerciales.

La utilización de un caso específico del sector comercial va encaminada al uso y validación del modelo para conocer cuáles serían los costos de implementación, con el fin de lograr interiores sostenibles y tomarlo como ejemplo para su análisis de los factores involucrados. El caso a estudiar está sujeto a los criterios y necesidades de la empresa Proyectar Gerencia, Diseño y Construcción.

Proyectar es una empresa dedicada a la gerencia, diseño y construcción de vivienda, oficinas, locales, y en general todo tipo de construcciones. El presente proyecto se realiza para esta empresa debido a que es la que facilita la información de costos y, en general, de diseño y construcción para el caso a estudiar.

Adicionalmente el caso de aplicación se toma como un ejemplo generalizado para analizar los beneficios que eventualmente se obtendrían después de la implementación de las alternativas encontradas, y conocer las ventajas competitivas después de la inversión inicial.

Es claro que después de invertir cierta suma de dinero en algún proyecto se quiera saber cuál es la mejora, ahorros o beneficios que se han obtenido. Por eso la importancia de conocer los indicadores eco-eficientes útiles para proporcionar un seguimiento y control después de la implementación. Los indicadores eco-eficientes permiten dar una noción cuantitativa del estado en que se encuentra la compañía a partir de las nuevas políticas medioambientales implementadas.<sup>3</sup>

Por otro lado, en un plano más general, los bienes y productos de los que disfrutamos son en realidad procedentes de varias actividades industriales, en los que para su obtención se necesitó de la utilización de un conjunto integrado de dinero, factor humano, y maquinaria; energía, materiales y procesos en los que la ingeniería industrial juega un papel importante ya que es la encargada de evaluar, y mejorar estos aspectos con miras a lograr un mejoramiento continuo<sup>4</sup>. Por ende para contribuir con ese mejoramiento continuo, se pretende en este proyecto la investigación de cómo lograr interiores sostenibles de uso comercial desde el punto de vista ambiental, teniendo en cuenta los costos asociados.

### 1.3. Proyectar Gerencia Diseño Y Construcción



#### 1.3.1 Información General De La Empresa

**Razón Social:** Proyectar Gerencia Diseño y Construcción S.A.  
**Nit:** 900390640-0

---

<sup>3</sup>Leal José, Ecoeficiencia: una propuesta de responsabilidad ambiental empresarial para el sector financiero colombiano, {En línea} 2008, pagina 14. [Disponible en] [http://www.ecobanking.com/PT/publicaciones/instituciones\\_academicas/Tesis-JMontes.pdf](http://www.ecobanking.com/PT/publicaciones/instituciones_academicas/Tesis-JMontes.pdf)

<sup>4</sup>Vaughn R.C.: Introducción a la ingeniería industrial, segunda edición. Editorial reverté. 1998, pág 1,2.

**Domicilio:** Bogotá D.C  
**Dirección Comercial** Calle 71 # 5-23 Of 403 B  
**Teléfono:** 3220704

Proyectar es una empresa dedicada a la construcción, desde la concepción y el diseño hasta la realización de obras urbanísticas. La empresa está dividida en áreas de acuerdo con las actividades que se desarrollan:

- Administrativa, en la cual se efectúan contratos relacionados con los servicios de soporte logístico y administrativo de los proyectos, ofrecimiento de servicios de asesoría en la ejecución de diferentes procedimientos presupuestales.
- Área Técnica. En esta área la empresa desarrolla construcción de edificaciones, obras de urbanismo y de infraestructura que cumplen con las especificaciones y diseños técnicos establecidos por ley, presta servicio de interventoría y seguimiento de los proyectos que garantizan el cumplimiento de la entrega del producto y el presupuesto de obra entre los rangos y plazos establecidos con el cliente.
- Área de diseño: Creación y gestión de diseños urbanísticos para todos los proyectos de construcción garantizando el cumplimiento de los requisitos técnicos, legales y normativos.
- Área de planeación. En esta área se coordinan, controlan y administran las actividades relacionadas con los presupuestos, programación, control de costos, obras y acabados de los proyectos.
- Área financiera: Esta área se encarga de proveer y administrar los recursos financieros para la operación de los proyectos
- Área de ventas: Se promueven las ventas de las unidades terminadas, industriales, comerciales, residenciales o institucionales en forma directa o por intermediarios

### 1.3.2 Productos Y Servicios Principales

**CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES**



**ASESORÍA EN PROCEDIMIENTOS PRESUPUESTALES**



**DISEÑO INTERIOR**



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Estado Del Arte

Para el desarrollo de este proyecto se realizó la investigación de artículos para conocer como ha sido tratado el tema de construir sostenible teniendo en cuenta la estructura definida por la certificación LEED.

- A continuación se presentan las investigaciones referentes a la certificación LEED:

**Título:** LEED Certification Process

**Autor:** U.S Green Building Council (USGBC)

**Fuente:** <http://www.usgbc.org/>

**Fecha:** En el año 2000se crea el consejo USGBC

**Descripción:** De acuerdo con el consejo de construcción verde de Estados Unidos USGBC por sus siglas en ingles, el procedimiento que se plantea para lograr una certificación para interiores comerciales es el siguiente:



El primer paso es registrar el proyecto. Este registro se hace para declarar la intención de certificar un interior comercial. Este paso le permitirá al usuario tener acceso a una variedad de herramientas y recursos necesarios para obtener una certificación.

Luego se continúa con la preparación de la aplicación en la cual el equipo del proyecto junto con miembros del USGB seleccionan los créditos que ha decidido llevar a cabo. Este debe comenzar a recopilar información y realizar cálculos de todos los requisitos previos y créditos comprometidos a cumplir junto con los materiales a implementar. Cuando esto está listo se procede a subir la información en línea. Esto se realiza con el acompañamiento de un profesional certificado LEED.

El siguiente paso es la presentación de la aplicación en donde únicamente el administrador de proyectos LEED realiza la revisión de la solicitud. En esta fase se deben presentar los formularios de información general del proyecto a certificar y presentar la documentación de los créditos con la puntuación requerida para lograr la certificación deseada.

Luego de enviar la aplicación completa del proyecto para la certificación, se inicia una revisión formal de la solicitud. El proceso de revisión varía según el proyecto a certificar.

La certificación LEED es el paso final en el proceso de revisión. Esta revisión se realiza a lo largo de todo el proyecto desde el diseño hasta un año después de la operación. Luego el equipo responsable acepta o apela la decisión final de certificar el proyecto. Si el proyecto es aceptado recibirá una placa que será el reconocimiento oficial.

**Título:** Indoor environmental quality differences between office types in LEED-certified buildings in the US.

**Autores:** Young S. Lee, Denise A. Guerin

**Fuente:** Bases de datos Scienccedirect / [www.sciencediret.com](http://www.sciencediret.com)

**Fecha de publicación:** Octubre de 2009

**Descripción:** Este estudio compró la calidad del aire interior, la calidad térmica y de iluminación entre 5 tipos diferentes de oficinas certificadas LEED con respecto a la satisfacción del medio ambiente, los trabajadores, y su desempeño laboral. Este estudio llegó a la conclusión que las oficinas mayores de 50 años que tienen cubículos altos presentan problemas en la calidad de la iluminación que otro tipo de oficinas con certificación LEED. Así el desempeño del trabajo fue menor en las oficinas tradicionales que en las certificadas LEED. Dentro de las soluciones se encontró que para mejorar la iluminación, dentro de las alternativas está el uso de vidrios en la parte superior de los cubículos o simplemente dejarlos despejados, o proporcionar controles de iluminación localizada para un fácil acceso por zonas puede ser otra manera de resolver el problema de iluminación.

- A continuación se presenta un artículo referente a modelos de optimización soportado con los criterios de certificación LEED.

**Título:** Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia

**Autores:** Daniel Castro-LA couture, Jorge A. Sefair, Laura Florez, Andres L. Medaglia

**Fuente:** Bases de datos Scienccedirect / [www.sciencediret.com](http://www.sciencediret.com)

**Fecha de publicación:** Agosto de 2008

**Descripción:** En este artículo se presenta un modelo de optimización lineal mixto, que busca seleccionar los materiales que cumplan los requisitos de la certificación LEED en lo referente únicamente a la sección de materiales. En este modelo se tuvieron en cuenta 11 créditos de la lista LEED, dentro de ellos están materiales y recursos en donde se encuentran los materiales reciclados, uso de madera certificada, uso de materiales regionales, uso de materiales renovables, materiales con bajos niveles de emisiones (pinturas, sellantes) entro otros. La selección de estos créditos es porque se busca escoger materiales que reduzcan los impactos ambientales negativos en el sector de la construcción.

El modelo de optimización planteado en este artículo consiste en maximizar el número de puntos que se pueden obtener por cada crédito (de los 11 seleccionados para la

evaluación de materiales) según la certificación LEED. Dentro de las restricciones planteadas se establece que el 75% de la superficie del techo debe ser construida con materiales que cumplan con el índice de reflectancia solar requerido, el 10% del costo invertido debe ser en materiales de contenido reciclado, también se considera la promoción de la compra de materiales de la región, seleccionar materiales rápidamente renovables, madera certificada, otra de las restricciones es la selección de materiales que no sobrepasen el límite máximo permitido de compuestos volátiles para sellantes y pinturas, así como se establece el límite de emisiones de compuestos volátiles para las alfombras, se restringen los materiales que contienen resinas urea – formaldehído y por ultimo están las restricciones de no negatividad y el comportamiento binario de algunas variables.

Este modelo identifica los materiales, las cantidades y el presupuesto requerido para la implementación de dichos materiales en una construcción. Con esto se obtiene un plan de compra detallado que establece los materiales que deben ser utilizados y su grado de utilización. Este modelo se puede utilizar para conocer el costo de ganar un punto adicional de la lista LEED.

De acuerdo con las investigaciones realizadas en relación a la forma como se han logrado certificaciones LEED en el sector de la construcción, se conoce que se realiza con la asesoría de profesionales permitidos que han obtenido experiencia a lo largo de las certificaciones dadas. De acuerdo con las investigaciones realizadas se encontró que el consejo de construcción verde (USGBC) el creador de la certificación LEED, no utiliza un modelo de optimización que le permita conocer las alternativas de materiales y/o tecnologías necesarias para lograr la puntuación deseada del proyecto a evaluar. Por otro lado se encontró un estudio que enfoca similitudes con el desarrollo de este proyecto debido a que utiliza un modelo de optimización utilizando los criterios de la certificación LEED pero el objetivo es maximizar la puntuación de créditos, encontrando los materiales que menos perjudican al medio ambiente, este modelo se enfocó únicamente en la sección de materiales LEED.

Por lo anterior este proyecto se centra en diseñar un modelo de optimización que minimice los costos de diseñar interiores comerciales de tipo sostenible. Para lograrlo se tomó como guía la evaluación de todos los criterios LEED para certificar interiores comerciales.

## **2.2. Certificación Liderazgo En Energía Y Diseño Ambiental “LEED”**

LEED es un reconocido sistema internacional para lograr certificaciones en construcciones verdes. Esta certificación fue desarrollada en Estados Unidos por la

organización Green Building Council (USGBC) en marzo del 2000.<sup>5</sup> Ofrece a los propietarios y/o constructores un marco para la identificación e implementación de prácticas para el diseño de construcciones verdes nuevas, así como el rediseño y adecuación de edificios existentes.

LEED promueve la construcción y prácticas de desarrollo sostenible. Lo hace a través de un conjunto de sistemas de clasificación que reconoce proyectos que implementan estrategias para mejorar el impacto ambiental. Los sistemas de calificación LEED se desarrollan mediante un proceso abierto, basado en un consenso dirigido por un comité.

LEED es suficientemente flexible para aplicarse a todos los tipos de edificios, tanto comerciales como residenciales. Funciona durante todo el ciclo de vida de la edificación, desde el diseño hasta la construcción, así como para el rediseño y adecuación de edificaciones existentes. LEED se extiende igualmente hasta el diseño y readecuación urbanos, extendiendo sus beneficios hasta el mismo entorno.<sup>6</sup>

Para lograr una certificación de este tipo, el Green Building Council, diseñó una tabla de puntuaciones diferentes para cada uno de los ciclos de vida de la construcción. Esta tabla está dividida en siete secciones, así: Sitios sostenibles (SS), eficiencia del agua (WE), energía y atmósfera (EA), materiales y recursos (MR), calidad ambiental interior (IEQ), innovación en el diseño (ID), y prioridad Regional (PR). Todas las secciones presentan subdivisiones en las que cada una tiene asignado un puntaje único que puede ser tomado en consideración o no. Dentro de estas consideraciones existen algunas que tienen prerequisites asignados, es decir que es obligatorio cumplirlos.

## **2.3. LEED Para Interiores Comerciales**

### **2.3.1. Que Es El Sistema Leed Para Interiores Comerciales**

El sistema LEED 2009 para interiores comerciales es un conjunto de normas de desempeño para la certificación del diseño y construcción de locales de tipo comercial como oficinas, restaurantes, y hoteles, entre otros, y de todos los tamaños, tanto públicas como privadas (USGBC, 2009). El propósito es promover prácticas saludables, duraderas y ecológicamente racionales para los interiores de edificaciones de uso comercial. Para el sistema de evaluación de interiores comerciales LEED, la certificación aborda siete secciones de acuerdo al impacto ambiental. Estos se pueden visualizar en la imagen 1.

---

<sup>5</sup> U.S. Green Building Council: What LEED is. [en línea]. (2009). [Consultado 3 mar. 2012]. Disponible en <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1988>

<sup>6</sup> Ibid, About USGBC



Imagen 1: Secciones por las que se estructura la certificación LEED

### 2.2.2. Categorías De Certificación

LEED versión 2009 para las certificaciones de interiores comerciales impone un conjunto de créditos y prerrequisitos para cada una de las siete secciones por las que se divide LEED. Cada crédito tiene asociado unos puntos. Existen cuatro niveles de certificación que se pueden obtener de manera voluntaria. La certificación se otorga de acuerdo a la siguiente escala:

- **BÁSICA:** El nivel de certificación básica se obtiene cumpliendo toda la lista de los prerrequisitos y alcanzando un puntaje cualquiera entre el rango de 40 a 49.
- **PLATA:** El nivel de certificación plata se obtiene cumpliendo todos los prerrequisitos y alcanzando un puntaje cualquiera entre el rango de 50 a 59.
- **ORO:** El nivel de certificación oro se obtiene cumpliendo todos los prerrequisitos de la lista y alcanzando un puntaje cualquiera entre el rango de 60 a 79.
- **PLATINO:** El nivel de certificación oro se obtiene cumpliendo todos los prerrequisitos de la lista y alcanzando un puntaje cualquiera entre el rango de 80 a 110.

### 2.2.3 Estructura De La Lista De Puntos De La Certificación Leed Para Interiores Comerciales

LEED presenta varios sistemas de evaluación dependiendo del tipo de construcción que se desea certificar. Para el caso de interiores comerciales existe una tabla en donde se especifican los aspectos que permiten lograr un interior sostenible. Estos aspectos están descritos como prerrequisitos y créditos. A continuación en la imagen 2

se señalan los componentes o partes de la lista de verificación. Luego se presenta que hace referencia cada uno de esos componentes.

La tabla de puntuaciones LEED 2009, presenta una estructura en la que se ilustran las siete secciones, sus subdivisiones y su respectiva puntuación. En la imagen 2 se ilustra dicha tabla con cada uno de sus componentes.

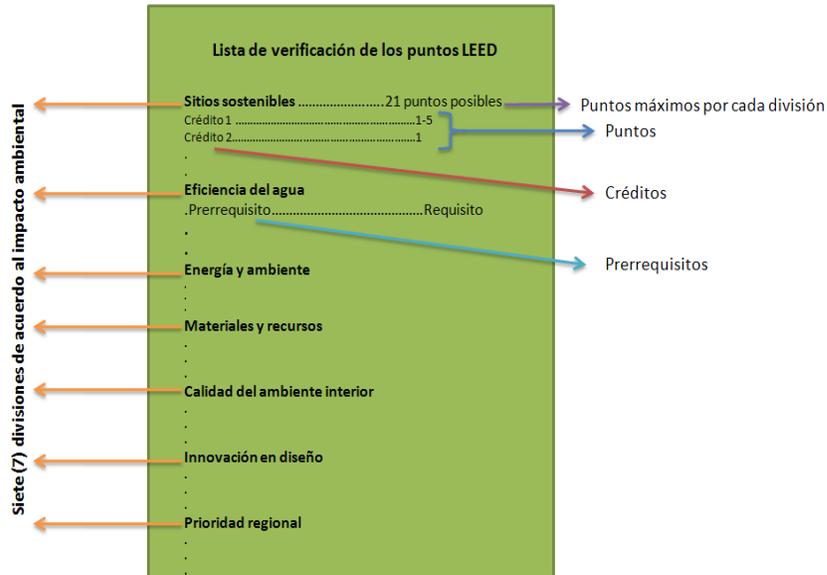


Imagen 2: Estructura de la lista de verificación de los puntos LEED para interiores. Elaboración propia.

A continuación se explica cada una de las partes por las que se estructura la lista de verificación LEED.

- Secciones: La lista de verificación LEED presenta siete secciones de acuerdo al impacto ambiental. Estas están distribuidas de la siguiente manera: 1. Sitios sostenibles, 2. Eficiencia del agua, 3. Energía y ambiente, 4. Materiales y recursos, 5. Calidad del ambiente interior, 6. Diseño e innovación, 7. Prioridad regional. Todas las secciones presentan una serie de créditos y prerrequisitos.
- Créditos: Los créditos son listas de criterios definidos, que si son elegidos para el diseño interior, permitirán minimizar un impacto ambiental según corresponda. Todos los créditos tienen asociados unos puntos.
- Prerrequisitos: Son aspectos obligatorios que se deben cumplir para obtener la certificación en cualquiera de sus categorías. Estos prerrequisitos no dan puntos.
- Puntos: Son rangos o valores de números enteros asignados a cada uno de los créditos. El cumplimiento de un crédito hace que se otorgue un puntaje definido

por la lista de verificación LEED. La suma de aquellos puntos debe estar entre un rango de 40 y 110, así logrará alcanzar la certificación deseada.

\* En el anexo A. Se encuentra la tabla de puntuación LEED para interiores comerciales que se utilizará en este proyecto

### **2.3 Desarrollo Sostenible**

Según la ley 99 de 1993 de política ambiental colombiana<sup>7</sup>, el desarrollo sostenible es una herramienta que conduce al bienestar social, crecimiento económico, y mejora de la calidad de vida, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.

El ciclo de vida de los productos, es la evolución que se da desde su fase de diseño hasta el fin de su vida útil, pasando por su desarrollo y madurez. Conocer este ciclo en las construcciones o de manera más específica en los espacios interiores de edificaciones, trae ventajas para prever su desarrollo y retrasar el deterioro.

Desde el punto de vista ambiental, el ciclo de vida de los edificios comprende pérdidas energéticas que afectan la calefacción del interior. Esto se debe al agrietamiento en paredes, que permite el paso de la humedad, formando desprendimientos de pintura y materiales que pueden ser tóxicos.

El ciclo de vida de cualquier producto está definido por etapas: introducción o etapa de desarrollo, crecimiento, madurez, y declive.

Para lograr un desarrollo sostenible en cualquier sector de la economía se requiere que haya un trato cuidadoso del medio ambiente y de los recursos no renovables de la tierra. Esto se puede lograr implementando políticas ambientales, guiando las acciones humanas a las buenas prácticas del uso de los recursos con el interés de garantizar la conservación y la mejora del medio ambiente y la calidad de vida de las personas.

Adicionalmente la calidad de vida se logra realizando cambios radicales en los ambientes en los que las personas han desarrollado sus actividades tradicionalmente, generando un proceso de cambio en la totalidad del sistema y asumiendo una responsabilidad para con el presente y con el futuro del planeta y de los seres vivos que lo habitan.

El desarrollo sostenible busca respetar y conservar el medio ambiente, al tiempo que pretende mejorar el bienestar de los seres humanos, contribuyendo a la sociedad a

---

<sup>7</sup> Ley 99: Política Ambiental Colombianas. Artículo 3 .[en línea]. (1993). [Consultado 6 Feb. 2012]. Disponible en <<http://www.humboldt.org.co/download/ley99.pdf>>

estar en armonía con la naturaleza y contribuyendo a la calidad de vida de las personas de las generaciones presentes y las generaciones futuras<sup>8</sup>

## **2.4 Investigación De Operaciones**

La investigación de operaciones surgió de la dificultad de resolver problemas debido al crecimiento importante y la complejidad de las organizaciones, así como por la necesidad de asignar recursos disponibles a las diferentes actividades de la manera más eficaz para la organización.

Una de las características de la investigación de operaciones es su amplio punto de vista, ya que permite adoptar una visión empresarial, y por ende, obtener el mejor resultado para toda la organización resolviendo los conflictos de intereses entre los componentes de esta.

Otra de las características de la investigación de operaciones es la optimización de operaciones. De acuerdo con el autor Hillier y Lieberman<sup>9</sup>, la optimización intenta encontrar una mejor solución, denominada solución óptima para el problema en cuestión.

La mayoría de los problemas generados en múltiples organizaciones de todo el mundo han sido resueltos a través de modelos de optimización que les ha permitido mejorar la eficiencia y productividad del trabajo. La optimización es un mecanismo que permite resolver problemas complejos para encontrar una solución óptima.

Para resolver satisfactoriamente un problema utilizando modelos de optimización es importante definir claramente el problema objetivo, y recolectar los datos relevantes para poder continuar con el siguiente paso. Este es formular un modelo matemático que represente el problema, y que está definido por tres componentes denominados variables, función objetivo y restricciones, continuando con el siguiente paso que es ejecutar el modelo con la ayuda de un software para obtener la solución óptima y finalmente continuar con la implementación.

### **2.4.1 Componentes De Un Modelo De Optimización**

Para poder definir los componentes del modelo y resolver el problema de interés exitosamente, es importante formularse tres preguntas, así:

---

<sup>8</sup>WulfChristoph y Brian Newton Desarrollo sostenible, Volumen 22, Editorial Waxman, 2006. p 24

<sup>9</sup>Hillier y Lieberman, Introducción a la investigación de operaciones, octava edición, Editorial Mc Graw Hill. 2007, página 2-5.

1. ¿Cuáles son las **alternativas** de decisión?
2. ¿Bajo qué **restricciones** se toma la decisión?
3. ¿Cuál es el **criterio objetivo** adecuado para evaluar las alternativas?

Después de responder estos interrogantes lo que resta es definir el objetivo del problema: si es para maximizar o minimizar. Y así, con las variables de decisión, se construye la función objetivo y las restricciones del modelo. De acuerdo con Hillier éstas están definidas de la siguiente manera<sup>10</sup>:

- **Función objetivo:** La función objetivo es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar (maximizar o minimizar).
- **Variables:** Representan las decisiones que se pueden tomar que afectan el valor de la función objetivo.
- **Restricciones:** Es un conjunto de expresiones matemáticas en las que algunas variables están obligadas a cumplir.

Una de las características de la investigación de operaciones es que no existe una sola técnica general con la que se resuelvan todos los modelos matemáticos que surgen en la práctica. La clase y complejidad del modelo matemático determina la naturaleza del método de solución.<sup>11</sup> En la imagen 3 se muestra la estructura que debe tener un modelo de optimización.

Maximizar o minimizar la  
**función objetivo**  
Sujeto a  
Restricciones

Imagen 3: Formato general de un modelo de optimización (Taha, 2004)

Una particularidad de la mayoría de las técnicas de investigación de operaciones es que las soluciones se determinan mediante algoritmos. Un algoritmo proporciona reglas fijas de cómputo que se aplican en forma repetitiva al problema, esta serie de repeticiones constituye las llamadas iteraciones en la que permite acercarse cada vez a la solución óptima.<sup>12</sup>

---

<sup>10</sup>Ibid, p, 7.

<sup>11</sup>Taha Hamdy. Investigación de operaciones. Séptima edición, editorial Pearson, 2004 página 1.

<sup>12</sup>Ibid, p, 5.

### **3. CONTEXTUALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL DISEÑO DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN.**

Mediante el modelo de optimización se pretende encontrar los costos precisos para diseñar interiores comerciales con miras a lograr ambientes sostenibles. Para lograrlo se utilizarán los criterios de la certificación Liderazgo en Energía y Diseño ambiental (LEED). Ésta incluye todos los aspectos ambientales que inciden en el sector de la construcción. El modelo diseñado para este proyecto busca conocer los costos en cada una de las categorías LEED (básica, plata, oro y platino).

El diseño interior que se busca con este proyecto hace referencia a la adecuación del espacio para conseguir una mejor distribución, ubicación de los elementos e implementación de tecnologías y/o materiales que permitan generar un lugar de trabajo más saludable y productivo. Que contribuya, a su vez, a minimizar los impactos negativos presentes en el sector de la construcción.

El modelo diseñado aquí será útil para todos los interiores de tipo comercial tales como restaurantes, oficinas, locales de venta al por menor, colegios, gimnasios, hospitales y bibliotecas, entre otros.

El objetivo del modelo de optimización es crear para el usuario una guía que le permita visualizar la generación de interiores sostenibles que mejoren la eficiencia, al tiempo que reduzcan los costos. La implementación de este modelo es voluntaria. Al ponerlo en práctica, sin embargo, las empresas obtendrán los beneficios expuestos en este proyecto. De manera adicional, se obtendrán empresas más competitivas mediante el desarrollo de metodologías pensadas en el medio ambiente. En síntesis, este modelo busca promover un diseño integrado y sostenible de las instalaciones, y fomentar la conciencia ambiental en los consumidores.

#### **3.1 Características Del Problema Planteado**

Mediante el modelo de optimización se pretende dar respuesta a la siguiente pregunta ¿Cuál sería el costo óptimo para obtener interiores comerciales ambientalmente sostenibles en cualquiera de las categorías en las que se estructura LEED?

A continuación se presentan las características del problema planteado. A partir de estas características, de la teoría de optimización y de la investigación de modelos

existentes se diseñó un modelo de optimización que permite resolver la pregunta anteriormente planteada.

1. De acuerdo con la lista de verificación de la certificación de Liderazgo En Energía y Desarrollo Sostenible (LEED) para interiores comerciales, los puntos asignados para cada una de los créditos son valores enteros. En el Anexo B se evidencian la tabla correspondiente a la puntuación que toma los créditos los cuales son valores enteros. Dada esta característica particular se evidencia que el modelo a diseñar hace parte de los modelos de optimización de programación entera.
2. Cada crédito (criterio) posee una puntuación determinada la cual puede estar dentro de un rango o una calificación con un único puntaje; ver anexo B. Esto genera la restricción de que la calificación obtenida por crédito no debe superar el máximo puntaje ni debe estar por debajo del mínimo
3. Dentro del modelo se pueden presentar alguna de las siguientes alternativas 1. Con la implementación de una tecnología o material verde se pueden cumplir más de dos créditos (criterios). 2. Existen alternativas dentro de las tecnologías que pueden cumplir un mismo crédito.
4. Cada tecnología o material verde tiene asociado un costo de acuerdo a la cantidad necesaria según el interior a diseñar. Ver anexo C
5. Existe un valor límite de puntos para obtener un tipo de certificación (básica, plata, oro, platino).



- Certificación básica 40-49 puntos
- Plata 50-59 puntos
- Oro 60-79 puntos
- Platino 80 -110 puntos

6. Existen créditos que son obligatorios de cumplir llamados prerrequisitos los cuales no dan puntos. Debido a esto es necesario la creación de una matriz en la que se visualice las tecnologías que cumplen al menos un prerrequisito. Dentro del modelo si la tecnología cumple el prerrequisito se denotará con 1 y si no con un 0.
7. La representación del modelo de optimización necesariamente debe tener una variable que determine si se elige o no una tecnología dentro de las alternativas encontradas. Esto se logrará teniendo una variable binaria donde; 1: La tecnología es elegida ó 0: la tecnología no es elegible.

De acuerdo con los puntos 6 y 7 la variable de decisión puede tomar dos valores (1, 0); Esto genera una variable de decisión binaria.

### **3.2 La Importancia De Tener Interiores Sostenibles**

Estratégicamente el hecho de tener espacios interiores verdes contribuye a la salubridad ambiental, y por tanto, de las personas que habitan ese espacio, así como a la reducción de factores negativos del medio ambiente.

Desarrollar actividades dentro de espacios interiores sostenibles conlleva a mejores desempeños en la productividad, al tiempo que genera beneficios en la salud humana. Si bien sabemos que lo más importante dentro de una organización es el factor humano, se deben tener en cuenta los aspectos involucrados en lograr la satisfacción y bienestar del mismo. Por esto, trabajar en espacios interiores verdes beneficia al trabajador directamente, y a la organización le permite mejorar su productividad, la calidad de los productos o servicios, y, por consiguiente, fidelizar y atraer nuevos clientes. Todo esto, contribuyendo en gran medida a la reducción de los impactos negativos del medio ambiente.

Así como tener espacios interiores verdes le trae beneficios al medio ambiente y a las personas que permanecen dentro de él, también le genera beneficios financieros a la compañía que los tiene, ya que le permitirá reducir costos de servicios, conservación de la energía y el agua y reducir costos por accidentes de trabajo. Esto, por supuesto, contribuirá a aumentar sus volúmenes de ventas.

Por otro lado, cualquier tipo de construcción es susceptible de mejorar sus espacios interiores sin importar su tamaño, ubicación, ni los usos que se le den. Por tal motivo tener espacios interiores verdes conllevará a lugares sanos y seguros para sus ocupantes, al tiempo que se hace partícipe de la innovación, gestión ambiental y responsabilidad social.

### 3.3. Criterios Para La Escogencia De Las Tecnologías Para El Modelo De Optimización De Acuerdo A Las Secciones LEED.

De acuerdo con las siete secciones por las cuales se estructura la certificación LEED para interiores comerciales se seleccionan las tecnologías adecuadas para la validación del modelo de optimización.

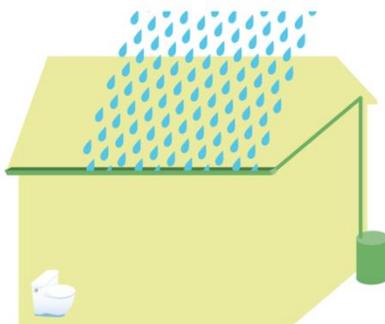
La certificación LEED presenta siete (7) secciones de acuerdo con el impacto ambiental. Estos están distribuidos de la siguiente manera: 1. Sitios sostenibles, 2. Eficiencia del agua. 3. Energía y ambiente. 4. Materiales y recursos. 5. Calidad del ambiente interior. 6. Diseño e innovación. 7. Prioridad regional. Todas las secciones presentan una serie de créditos y prerrequisitos.

- **SITIOS SOSTENIBLES (SS)**



Esta sección hace referencia a la ubicación estratégica del proyecto, lo que significa que cuente con acceso al transporte público, fomente la alternativa de transporte verde (bicicletas), y se encuentre en un lugar con densidad y conectividad comunitaria. Esta sección da como máximo 21 puntos.

- **EFICIENCIA DEL AGUA**



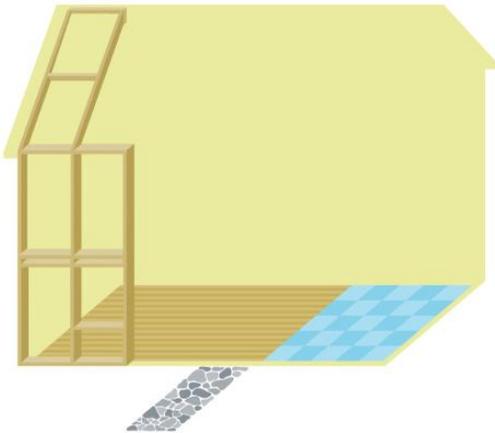
Hace referencia a la implementación de mecanismos que permitan un rendimiento máximo del agua. Como requisito es necesario que el interior genere un ahorro mínimo del 20% del agua consumida.

- **ENERGÍA Y AMBIENTE**



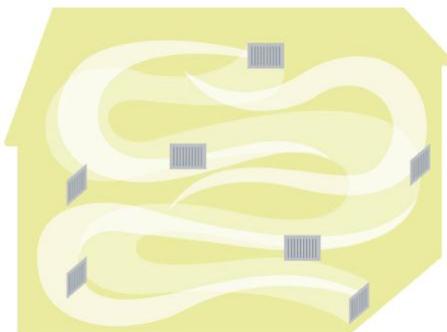
Esta sección hace referencia a la implementación de energías verdes o mecanismos que generen un rendimiento energético máximo. Esta sección busca la incorporación de estrategias de optimización de iluminación, instalación de sensores o controles de luz, ahorro en los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, siempre encaminado al menor consumo de energía.

- **MATERIALES Y RECURSOS**



Esta sección busca generar mecanismos para la gestión de los materiales orgánicos e inorgánicos teniendo en cuenta los planes de reciclaje, y gestión de residuos de la construcción. Así mismo busca la reutilización de materiales generados. Por otro lado esta sección tiene en cuenta el uso de maderas certificadas por FSC (Forest Stewardship Council), ya que esta entidad se cerciora de la ordenación forestal sostenible.

- **CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR**



Esta sección busca proporcionar la circulación de aire fresco, suministrar un flujo de aire natural que asegure el sistema de ventilación y se cerciore de generar un confort térmico en el interior.

- **INNOVACIÓN EN DISEÑO**



Esta sección hace referencia a la creatividad del arquitecto para diseñar de la mejor manera posible el interior, teniendo en cuenta la ventilación e iluminación naturales, así como la estructura física.

- **PRIORIDAD REGIONAL**



Tiene que ver con la localización del proyecto con respecto al planeta. Se pueden obtener puntos de acuerdo con la zona geográfica y código postal de la región. En el caso colombiano donde no se han establecido estos códigos postales, se pueden ganar puntos con la implementación de materiales propios de la región.

## 4. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE MODELOS DE OPTIMIZACIÓN

En este capítulo se presenta la investigación correspondiente a la búsqueda de los posibles modelos de optimización que se ajustan a los criterios y características definidos en la sección 3.1, se analiza y concluye por qué dichos modelos podrían relacionarse o no al problema planteado. De acuerdo con estos análisis y por medio de los principios de optimización de operaciones se diseña un modelo de optimización que permite dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cuál sería el costo óptimo para obtener interiores comerciales ambientalmente sostenibles en cualquiera de las categorías en las que se estructura LEED?

### 4.1 Modelos De Optimización

De acuerdo con las características descritas en la sección 3.1 el modelo que se pretende diseñar hace parte del grupo de modelos de optimización de programación entera binaria. Conforme a esto se investigaron los modelos de optimización que hacen parte de este grupo y por su estructura se pueden encontrar similitudes con el modelo que se quiere diseñar en este proyecto. A continuación se resume brevemente porque se eligen dichos modelos para su estudio.

1. Se toma como objeto de estudio el modelo de transporte, debido a que este consiste en optimizar los costos de distribución de cualquier mercancía desde un origen a un destino. Por lo anterior, y para el problema planteado en este proyecto, los orígenes son las tecnologías en la que cada una de ellas tienen un costo asociado. Los destinos son los créditos que deben cumplir, de la lista LEED, dichas tecnologías. En la sección 4.1.2 se analiza este modelo de transporte y su analogía con el problema planteado.
2. Lo que se quiere lograr con el diseño del modelo de optimización es encontrar la mejor alternativa de diseñar interiores sostenibles, de acuerdo con las categorías por las que se estructura LEED. Así entonces la metodología para lograrlo es asignar tecnologías que generen más puntos y que tengan asociados los menores costos para lograr interiores sostenibles. A partir de esto es probable que el prototipo que se quiere diseñar se ajuste a un modelo de asignación en el que los créditos son tareas y las tecnologías son los asignados. En la sección 4.1.3 se analiza más detalladamente este modelo.

3. El problema de la mochila es un problema típico de optimización de modelos lineales enteros. La característica principal de este modelo es maximizar el valor total de un conjunto de elementos sin exceder el peso máximo. De acuerdo con esto, y haciendo la analogía para este proyecto se encuentra que existe cierta cantidad de tecnologías o materiales las cuales tienen unos puntos (peso) y unos costos asociados (valor). El número de puntos máximo que se puede obtener son 110 para alcanzar la certificación platino, lo que significa que el modelo no puede exceder este peso. En la sección 4.1.4 se describen sus características y se analiza la escogencia de este modelo.

De acuerdo con lo anterior se analizará a continuación cada uno de los modelos de optimización donde se podrá evidenciar la relación que tiene cada uno de estos con el problema planteado.

#### **4.1.1. Programación Lineal - Entera Binaria (PEB)**

La programación lineal puede abordar problemas que requieran de una planeación de actividades. Dentro de las aplicaciones más comunes se encuentra el de asignar de la mejor manera posible, es decir de forma óptima – recursos limitados a actividades que compiten entre sí.<sup>13</sup>

Dentro de las aplicaciones que se pueden ver en la programación lineal está la programación entera binaria. Se dice que un problema es entero porque su principal característica es que las variables de decisión toman valores enteros. El modelo matemático para esta programación incluye dentro de las restricciones la condición de divisibilidad. En los casos en los que sea necesario incluir solo algunas variables enteras se considera programación entera mixta (PEM). Dentro de la programación entera se encuentra otra área de aplicación que consiste en incluir dos decisiones “sí y no” en la que el modelo solo tendría cualquiera de las dos soluciones expresadas matemáticamente como 0 y 1. Las variables de este tipo se llaman binarias.<sup>14</sup>

De acuerdo con lo anterior y con las características del problema especificado en el capítulo 4, los puntos asignados para cada una de los créditos son valores enteros. (Veranexo A). Por ende el modelo de optimización a diseñar hace parte de los modelos de programación entera binaria.

---

<sup>13</sup>Hillier y Lieberman, Op. cit., p. 482

<sup>14</sup>Ibid., p. 478

#### 4.1.2. Problema de transporte

El modelo de transporte es una clase particular de programación lineal que consiste en la distribución de cualquier mercancía desde cualquier grupo de centros de suministro llamados orígenes, a cualquier grupo de centros de recepción, llamados destinos. El objetivo de este modelo es determinar o encontrar la forma que permita minimizar el costo total del transporte y que al mismo tiempo satisfaga los límites de la oferta y la demanda. Este modelo supone que el costo de transporte es proporcional a la cantidad de unidades transportadas en determinada ruta<sup>15</sup>.

El supuesto principal de este tipo de modelos es que cada origen tiene que distribuir completo un suministro fijo de unidades a los destinos así mismo cada destino tiene cierta demanda fija de unidades que deben satisfacerse de los orígenes, denotados como  $S_i$  y  $d_j$ .

$S_i$  Número de unidades que suministra el origen  $i$ , para  $i = 1, 2, \dots, m$

$d_j$  Número de unidades recibidas por el destino  $j$ , para  $j = 1, 2, \dots, n$

Un problema de transporte tiene soluciones si y solo si:

$$\sum_{i=1}^m S_i = \sum_{j=1}^m d_j$$

**Ecuación 1: Restricción de un modelo de transporte**

Lo que significa que el número de unidades que suministra el origen  $i$  es igual al número de unidades recibidas por el destino  $j$ .

Si el problema no cumple este supuesto es necesario crear orígenes o destinos ficticios. Otro de los supuestos de este modelo es el de costo ya que este es directamente proporcional al número de unidades distribuidas.

Por lo tanto los parámetros utilizados para resolver un problema utilizando el modelo de transporte son:

- Unidades de un bien
- $m$  orígenes
- $n$  destinos
- $S_i$  recursos en el origen  $i$

---

<sup>15</sup>Taha Hamdy: Investigación de operaciones. Séptima edición, editorial Pearson, 2004. p 165.

- Demanda  $d_j$  del destino  $j$
- Costo  $C_{ij}$  por unidad distribuida desde el origen  $i$  hasta el destino  $j$ .

- **Relación del modelo de transporte con el problema planteado**

Para el problema planteado en este proyecto, se asocia de la siguiente manera:

- Unidades de un bien: cantidad de tecnologías necesarias para el interior a diseñar
- $m$  orígenes: Tecnologías que contribuyen a cumplir algún requisito.
- $n$  destinos: Créditos que se pueden cumplir con las tecnologías implementadas.
- $S_i$  recursos en el origen  $i$ : Puntos que da la tecnología  $i$
- Demanda  $d_j$  del destino  $j$ : Puntos posibles que se pueden obtener por el crédito  $j$
- Costo  $C_{ij}$  por unidad distribuida desde el origen  $i$  hasta el destino  $j$ : Costo de implementar la tecnología  $i$  para que cumpla el crédito  $j$ .

La analogía consiste en “enviar” o “transportar” una tecnología a los diferentes destinos que serían los créditos que cumple dicha tecnología de acuerdo con sus especificaciones para poder obtener un puntaje.

Dentro de los obstáculos encontrados para ajustarlo es que no es posible “enviar” una tecnología (origen) a un crédito (destino) de la lista LEED porque cada tecnología por su esencia está cumpliendo al menos un crédito específico y esto no es modificable, lo que significa que no es posible “enviar” una tecnología a otro destino que no pertenece. La naturaleza del problema planteado en este trabajo no se ajusta al modelo de transporte.

Analizando el modelo de transporte, este no es útil para tomarlo como referencia para diseñar el modelo que permita resolver el problema planteado.

#### **4.1.3. Problema de asignación**

Es un tipo de problema de programación lineal entera binaria en el que los asignados son recursos destinados a la realización de tareas.

Para que un caso en particular se ajuste al problema de asignación, es necesario que cumpla con las siguientes características para que se pueda formular:<sup>16</sup>

1. El número de asignados sea igual al número de tareas.
2. A cada asignado se le asigna sólo una tarea.
3. Cada tarea debe realizarla sólo un asignado.
4. Existe un costo  $C_{ij}$  asociado con el asignado  $i$  ( $i=1, 2,3,\dots, n$ ), que realiza la tarea  $j$ , ( $j=1, 2,3,\dots, n$ ).
5. El objetivo es conocer cómo deben hacerse las  $n$  asignaciones para minimizar los costos totales.

Para la formulación matemática del problema de asignación se utilizan las siguientes variables de decisión:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Si el asignado } i \text{ realiza la tarea } j \\ 0 & \text{Si el asignado } i \text{ no realiza la tarea } j \end{cases}$$

Entonces cada  $X_{ij}$  es una variable binaria que determina si el asignado  $i$  debe realizar la tarea  $j$ .

Si  $Z$  es el costo total entonces el modelo quedaría de la siguiente forma:

$$\begin{array}{c} \text{Minimizar} \\ Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \end{array}$$

**Ecuación 2: Función objetivo de un modelo de asignación.**

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \text{ Para } i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \text{ Para } j = 1, 2, \dots, n$$

**Ecuación 3: Restricciones de un problema de asignación**

Y

$$X_{ij} \geq 0, \text{ Para toda } i \text{ y } j$$

---

<sup>16</sup>Hiller y Lieberman, Op. cit., p. 350

$$X_{ij} \text{ Binarias Para toda } i \text{ y } j$$

Puede suceder que el problema de asignación para algunos casos no cumpla del todo con las características del modelo, ya que se vuelve necesario que un asignado pueda cumplir con múltiples tareas o viceversa. Para estos casos el problema se puede reformular dividiendo el asignado en asignados nuevos, separados pero idénticos, en donde cada uno de esos nuevos asignados va a realizar una tarea. Así mismo se puede hacer en el caso de tareas.

- **Relación del modelo de asignación con el problema planteado**

De acuerdo con las condiciones del problema de este proyecto, y haciendo la analogía con el problema de asignación se tiene lo siguiente:

1. Los asignados son las tecnologías
2. Las tareas son los créditos de la lista de verificación LEED
3. El número de tecnologías (asignados) debe ser igual al número de créditos (tareas) que se quiere obtener.
4. A cada tecnología (asignado) se le asigna sólo un crédito (tarea).
5. Cada crédito (tarea) debe realizarla sólo una tecnología (asignado)
6. Existe un costo  $C_{ij}$  asociado con la tecnología  $i$  (asignado) ( $i=1, 2,3,\dots, n$ ), que realiza o cumple el crédito  $j$  (tarea), ( $j=1, 2,3,\dots, n$ ).
7. El objetivo es conocer cómo deben hacerse las  $n$  asignaciones para minimizar los costos totales.

Es posible que una tecnología o material pueda cumplir varios créditos. Entonces se hace necesario dividirlos para generar diferentes tecnologías idénticas que cumplan con un crédito a la vez. Lo mismo sucede con los créditos: pueden existir varias tecnologías que cumplan un mismo crédito, por lo que se hace necesario dividir ese crédito en varios idénticos.

A continuación en la imagen 4 se representa el problema planteado basado en las características del problema de asignación.

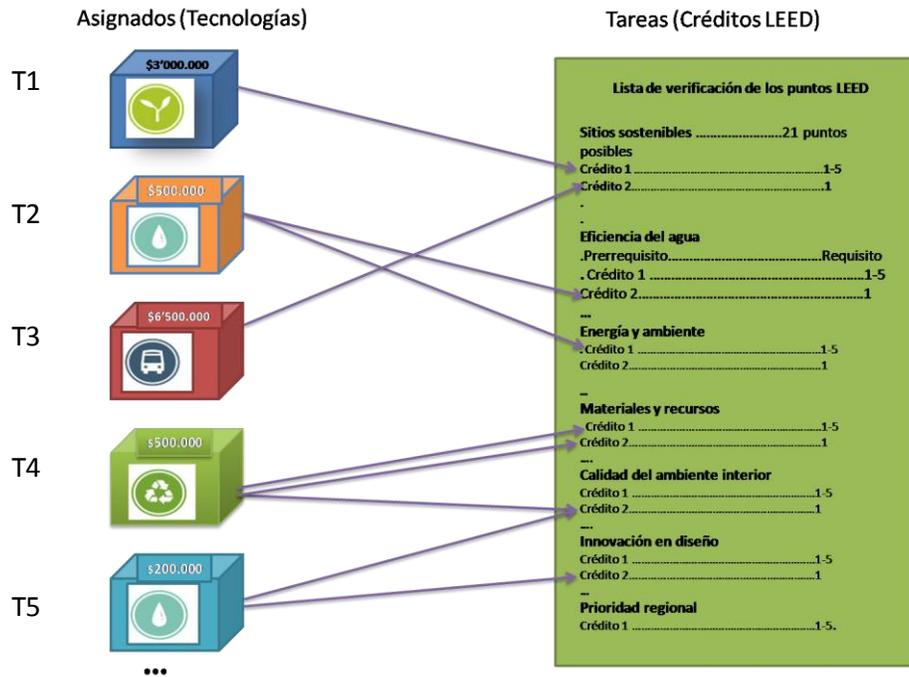


Imagen 4: Representación de red del problema planteado como modelo de asignación. Elaboración propia.

Aunque según lo anterior el modelo de asignación se ajusta muy bien al problema que se quiere resolver, porque el objetivo de este modelo es minimizar costos y del problema aquí presentado también, se encontró que uno de los inconvenientes de usar este modelo como guía es que para el problema planteado no necesariamente todas las tecnologías deben ser usadas. Lo mismo ocurre con los créditos: no todos los créditos deben cumplirse. El problema consiste en saber escoger las tecnologías que generen más puntos al menor costo. Por otro lado, algo de lo que se puede aprovechar es utilizar las variables de decisión de la siguiente forma.

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Se elige la tecnología } i \text{ para cubrir el crédito } j \\ 0 & \text{No se elige la tecnología } i \text{ para cubrir el crédito } j \end{cases}$$

Así que dadas las anteriores justificaciones, el modelo de asignación no se tomará como guía única para el desarrollo de este problema.

#### 4.1.4. Problema de la mochila (knapsack problem)

El problema de la mochila es un problema típico de optimización de modelos lineales enteros. El caso que ilustra este problema es de un campista que debe decidir entre una serie de latas de alimento que debe ingresar a la mochila, las condiciones de este

caso es que la mochila resiste un peso y/o un volumen determinado. Si decimos que cada lata tiene un peso  $P_i$ , cierto valor  $V_i$  para el campista y su mochila tiene una capacidad  $P$ , si hay  $n$  artículos, la ecuación sería:

$$Maxz = \sum_{i=1}^n v_i x_i$$

S.A

$$\sum_{i=1}^n p_i x_i \leq P$$

y

$$X_i \geq 0, \quad x_i \in \mathbb{Z}, \quad i = 1, \dots, n$$

Donde  $x$  es el número de latas del alimento  $i$  que el campista llevará en su mochila. La característica principal de este problema es maximizar el valor total sin exceder el peso máximo.<sup>17</sup>

- **Relación del modelo de la mochila con el problema planteado**

De acuerdo con esto, y haciendo la analogía para el problema planteado encontramos que:

- Mochila: Es el espacio interior que se quiere diseñar ambientalmente al cual se le van a implementar unas tecnologías.
- Peso: Puntos que se ganan por cada tecnología  $i$  implementada.
- Valor: Costo asociado para cada tecnología  $i$
- $X$ : número de tecnologías  $i$  de un mismo grupo que el usuario implementará en su interior comercial.

De acuerdo con la lista de verificación LEED para interiores comerciales (anexo B), esta está dividida por grupos según el criterio ambiental, y existen varias tecnologías que hacen parte del mismo grupo. En contexto con este modelo la variable de decisión

---

<sup>17</sup> Hernández Ayuso, María del Carmen: Introducción a la programación lineal, primera edición, editorial Universidad Nacional Autónoma de México, 2007, p. 6.

consiste en encontrar el número de tecnologías  $i$  de un mismo grupo que se implementarán en el interior que se desea diseñar sosteniblemente.

A continuación en la imagen 5 se representa el problema planteado como un problema mochila.



Imagen 5: Representación del problema planteado como un problema mochila. Elaboración propia.

De acuerdo con las características del modelo que se quiere diseñar, el problema de la mochila no se ajusta, porque este es estrictamente para maximizar el valor total sin exceder el peso máximo, por lo que para efectos de este trabajo lo que realmente se busca es minimizar el costo. Esto plantea una función objetiva de minimización. Por otro lado, este modelo no toma en cuenta qué tecnologías ha seleccionado y es posible que se seleccionen más tecnologías innecesarias de una misma categoría. Por tales motivos este problema no se ajusta completamente al modelo del “problema de la mochila”.

En conclusión, y teniendo en cuenta que ninguno de los modelos descritos se ajusta completamente a los requerimientos del problema planteado, se hace necesario diseñar uno propio que se adecue en su totalidad a los parámetros del prototipo propuesto. En el capítulo quinto, se pasa a formular de manera matemática el modelo diseñado, describiendo cada uno de los componentes principales por los que se estructura: las variables de decisión, las restricciones y la función objetivo.

## 5. FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL PROBLEMA

En este capítulo se expresarán de manera matemática los componentes del modelo de optimización diseñado. Dichos componentes son los conjuntos, parámetros, función objetivo, variables de decisión y restricciones. Con estos componentes se estructura el modelo de optimización que permitirá encontrar los costos óptimos para diseñar interiores ambientalmente sostenibles.

### 5.1 Pasos Para La Formulación Del Problema.

1. Definir las características (área y ubicación), y parámetros (cantidad de maquinaria, de puntos de iluminación, baños entre otros) del interior a mejorar o diseñar sosteniblemente.
2. De acuerdo con la actividad del interior comercial que se quiere diseñar sosteniblemente, se investigan tecnologías o materiales verdes que permitan mitigar los aspectos negativos ambientales generados por la construcción (desde el diseño hasta el uso del lugar).
3. Listar las tecnologías con los precios unitarios correspondientes y definir el impacto ambiental que esta traería si se implementa. De acuerdo con las características del lugar se definirán las cantidades necesarias por tecnología y el costo total que este traerá al proyecto. Esta información llenará la ficha técnica de tecnología encontrada en el anexo C.
4. De acuerdo con las especificaciones de la tabla de puntuación para interiores comerciales (anexo A), la tabla de verificación LEED para interiores comerciales (anexo B) y a la ficha técnica de las tecnologías (anexo C), se llenará el formulario matriz de puntuación obtenida (anexo D) la cual permitirá conocer los puntos totales por tecnología y el costo asociado a cada una de ellas.

**\*Nota:** Para llenar la matriz de puntuación obtenida se tendrá en cuenta lo siguiente:

- a. Si la tecnología no cumple la especificación del crédito el espacio se llenará con un 0
- b. Si la tecnología cumple la especificación del crédito el espacio se llenará de acuerdo con la lista de puntuación para interiores comerciales (anexo A).

5. Según las especificaciones técnicas de la tecnología (anexo C), se llenará la matriz de prerequisites (anexo E) donde se tendrá en cuenta lo siguiente:
  - a. Si la tecnología cumple el prerequisite se llena con un 1.
  - b. Si la tecnología no cumple el prerequisite se llena con 0.

Nota: Se recuerda que el cumplimiento de los prerequisites no da puntos. Sin embargo, dentro del modelo de optimización, los prerequisites serán necesarios para cumplir con una de las restricciones.

6. De acuerdo con esta serie de pasos se obtendrán dos matrices: una, que permite conocer la puntuación dada por tecnología y sus respectivos precios, y otra que permite conocer las tecnologías que cumplen los prerequisites.

Estas matrices se utilizan para la programación del modelo de optimización que permitirá conocer el costo óptimo de diseñar interiores sostenibles relacionados con el puntaje que se desea obtener.

## **5.2. Componentes Y Formulación Matemática Del Modelo De Optimización Para Diseñar Interiores Comerciales Ambientalmente Sostenibles**

Como se ha venido explicando en este proyecto, lo que se busca con el modelo de optimización es lograr un costo óptimo para diseñar interiores comerciales ambientalmente sostenibles, de acuerdo con los criterios LEED para interiores comerciales, a partir de la implementación de tecnologías que contribuyan a mitigar los impactos ambientales negativos generados por la construcción.

Con base en lo anterior, las variables de decisión están enfocadas a seleccionar las tecnologías que más puntos generan con los menores costos.

Entonces, analizando las características del problema descritas en la sección 3.1, los modelos de programación lineal entera descritos en el capítulo 3 y conociendo los principios de optimización, se muestran a continuación los conjuntos, parámetros, restricciones, variables de decisión y función objetivo del problema planteado anteriormente, creando así la formulación matemática del problema.

### **5.2.1 Conjuntos**

Los conjuntos en investigación de operaciones son la reunión de datos u objetos que hacen parte del mismo grupo por sus características. Para el problema planteado en este trabajo se encontraron los siguientes conjuntos.

***T: Conjunto de tecnologías i:***

El conjunto de tecnologías  $i$  hace referencia a las técnicas o actividades que se pueden implementar para diseñar un interior sostenible. El conjunto de tecnologías usadas para este proyecto se pueden evidenciar en el anexo C.

***C: Conjunto de créditos  $j$  de la lista LEED para interiores comerciales***

El conjunto de créditos  $j$  es el grupo de criterios definidos por LEED de acuerdo con cada sección ambiental. Cada uno de los créditos tiene asociado un puntaje. Este conjunto de créditos se pueden ver en el anexo A

***P: Conjunto de prerrequisitos  $k$***

El conjunto de prerrequisitos son el grupo de aspectos obligatorios que se deben cumplir para obtener una certificación en cualquiera de las categorías LEED. Estos prerrequisitos no dan puntos. Ver anexo E lista de prerrequisitos.

### **5.2.2. Parámetros**

Los parámetros son ciertos símbolos que se usan de manera convencional para denotar los diversos componentes del modelo de programación lineal. A continuación se mencionan los símbolos utilizados para el problema planteado y su interpretación.

***Cant<sub>i</sub>***: Cantidad de tecnología  $i$

***Pu<sub>i</sub>***: Precio unitario de la tecnología  $i$

***Punt<sub>ij</sub>***: Puntaje asociado de la tecnología  $i$  para el criterio  $j$

***Cub<sub>2ij</sub>***: Si la tecnología  $i$  cubre el prerrequisito  $k$

***Punt<sub>totalmin</sub>***: Puntaje mínimo para la certificación deseada.

***P<sub>max</sub>***: Puntaje máximo por crédito  $j$

### **5.2.3 Variables de decisión**

Las variables de decisión son representaciones de las n decisiones cuantificables relacionadas entre sí. En el modelo, estas variables determinan sus valores respectivos. En consecuencia la medida de desempeño adecuada se expresa como una función matemática de esas variables de decisión. Para la solución de este modelo se encontraron dos variables de decisión  $X_i, r_j$

$X_i$ : Si la tecnología se usa o no ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ )

$$X_i = \begin{cases} 1 & \text{Se eligió la tecnología } i \\ 0 & \text{No se eligió la tecnología } i \end{cases}$$

Y

$r_j$  Cuál es el puntaje asignado para cada uno de los créditos de la lista LEED ( $r_1, r_2, \dots, r_n$ )

$r_j$ : Puntos asignados al crédito j

#### 5.2.4 Restricciones

Las restricciones son las limitaciones del problema que se pueden imponer sobre los valores de las variables de decisión. Estas limitaciones se expresan por medio de ecuaciones o desigualdades matemáticas. Para el problema aquí planteado se encontraron las siguientes restricciones:

1. El puntaje asignado a cada crédito j que pertenece al conjunto de créditos de la lista LEED debe ser menor o igual a la suma de los puntajes dados por cada tecnología i escogida.

$$r_j \leq \sum_i X_i * Punt_{ij} \quad \forall j \in C$$

Ecuación 4: Primera restricción del modelo diseñado.

2. El puntaje asignado a cada crédito j que pertenece al conjunto de créditos de la lista LEED debe ser menor o igual al puntaje máximo que puede tener un crédito j.

$$r_j \leq Pmax \quad \forall j \in C$$

Ecuación 5: Segunda restricción del modelo diseñado.

3. La suma de cada uno de los puntos obtenidos por cada crédito j, debe ser mayor o igual al puntaje total mínimo que se puede obtener para lograr la certificación LEED deseada (básica, plata, oro, platino).

$$\sum_j r_j \geq Puntotalmin$$

Ecuación 6: Tercera restricción del modelo diseñado.

4. Esta restricción obliga al modelo a elegir al menos una tecnología por prerrequisito establecido por la lista LEED. En otras palabras, lo que significa, es que todos los prerrequisitos deben estar cubiertos por al menos una tecnología. Por eso se hace necesario que la desigualdad matemática sea mayor o igual a uno (1).

$$\sum_{i=1}^n X_i * Cub2_{ik} \geq 1 \quad \forall k \in P$$

Ecuación 7: Cuarta Restricción del modelo diseñado.

5. Esta restricción hace que la variable de decisión tome valores de 0 o 1 estrictamente. Por esto  $X_i$  es una variable de decisión binaria que permite conocer si se elige o no una tecnología  $i$ .

$$X_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in T$$

Ecuación 8: Quinta Restricción

6. Los puntos asignados al crédito  $j$  debe ser un entero no negativo.

$$r_j \geq 0 \quad \forall j \in C$$

Ecuación 9: Sexta restricción del modelo diseñado.

### 5.2.5 Función Objetivo:

El objetivo del problema es encontrar los costos óptimos de diseñar interiores comerciales para cada una de las categorías LEED (básica, plata, oro, platino). Por esto la función objetivo del modelo se expresa matemáticamente como una minimización de costo.

$$\text{Minimizar costo } Z = \sum_{i=1}^n Pu_i * Cant_i * X_i$$

Ecuación 10: Función Objetivo del modelo diseñado.

### 5.3. Modelo Costos Óptimo Para El Diseño De Interiores Comerciales Ambientalmente Sostenible

De acuerdo con la sección 4.1 el modelo de optimización quedaría de la siguiente forma:

Variables de decisión:  $X_i$  y  $r_j$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

Para: **Minimizar costo  $Z = \sum_{i=1}^n Pu_i * Cant_i * X_i$**

Sujeta a:  $r_j \leq \sum_i X_i * Punt_{ij} \quad \forall j \in C$

$r_j \leq Pmax \quad \forall j \in C$

$\sum_j r_j \geq Puntotalmin$

$\sum_{i=1}^n X_i * Cub2_{ik} \geq 1 \quad \forall k \in P$

$X_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in T$

$r_j \geq 0 \quad \forall j \in C$

Donde:

$X_i = \begin{cases} 1 & \text{Se eligió la tecnología } i \\ 0 & \text{No se eligió la tecnología } i \end{cases}$

$r_j$  Es el puntaje asignado para cada uno de los créditos de la lista LEED ( $r_1, r_2, \dots, r_n$ )

**$Cant_i$** : Cantidad de tecnología  $i$

**$Pu_i$** : Precio unitario de la tecnología  $i$

**$Punt_{ij}$** : Puntaje asociado de la tecnología  $i$  para el criterio  $j$

**$Cub2_{ij}$** : Si la tecnología  $i$  cubre el prerrequisito  $k$

**$Puntotalmin$** : Puntaje mínimo para la certificación deseada.

**$Pmax$** : Puntaje máximo por crédito  $j$

#### 5.4. Beneficios De Utilizar El Modelo Diseñado

Los modelos en general son de gran utilidad para entender mejor la realidad y tener un conocimiento previo al desarrollo. La característica principal es que permiten conocer a menor escala el comportamiento o funcionamiento de lo que queremos hacer real. Asimismo, se pueden evaluar muchas alternativas en diferentes escenarios sin invertir mucho dinero y con la posibilidad de revertir el proceso sin causar mayores problemas<sup>18</sup>. Diferentes profesionales utilizan los modelos para visualizar a menor escala lo que se desea. Por ejemplo, los arquitectos utilizan maquetas o software que permiten esa visualización y que ayudan a reducir las incertidumbres de las predicciones.

La gran ventaja de utilizar el modelo de optimización planteado en este proyecto, es que le permitirá al usuario conocer las alternativas y combinaciones de tecnologías y/o materiales llamados verdes que mejor se ajustan a su caso específico para la obtención de interiores comerciales sostenibles, teniendo en cuenta el costo óptimo para diseñarlos.

Utilizando este modelo, al usuario le permitirá ahorrar tiempo y dinero debido a su fácil uso. Adicionalmente podrá utilizarlo él mismo, evitando la contratación de un tercero que le acarrearía costos adicionales. En cuanto al tiempo empleado, el sistema le arrojará la información en menos de 5 minutos.

Desarrollar actividades dentro de espacios interiores sostenibles conlleva a mejores desempeños en la productividad, al tiempo que genera beneficios en la salud humana. Si bien sabemos que lo más importante dentro de una organización es el factor humano, se deben tener en cuenta los aspectos involucrados en lograr la satisfacción y bienestar del mismo<sup>19</sup>. Por esto, trabajar en espacios interiores verdes beneficia al trabajador directamente, y a la organización le permite mejorar su productividad, la calidad de los productos o servicios, y, por consiguiente, fidelizar y atraer nuevos clientes. Todo esto, contribuyendo en gran medida a la reducción de los impactos negativos del medio ambiente.

Así como tener espacios interiores verdes le trae beneficios al medio ambiente y a las personas que permanecen dentro de él, también le genera beneficios financieros a la compañía que los tiene, ya que le permitirá reducir costos de servicios, conservación

---

<sup>18</sup>Keithcoors. Modelos científicos y modelos no científicos. En: [línea]. Mar, 15 de 2008. Disponible en: <<http://ahuramazdah.wordpress.com/2008/03/15/modelos-cientificos-y-modelos-no-cientificos/>>

<sup>19</sup>Kanawaty George,OIT. El factor humano en la aplicación del estudio del trabajo. En: Introducción al estudio del trabajo. Limusa, 2008. P.25.

de la energía y el agua, y reducir costos por accidentes de trabajo. Esto, por supuesto, contribuirá a aumentar sus volúmenes de ventas.

Por otro lado, cualquier tipo de construcción es susceptible de mejorar sus espacios interiores sin importar su tamaño, ubicación, ni los usos que se le den. Por tal motivo tener espacios interiores verdes conllevará a lugares sanos y seguros para sus ocupantes, al tiempo que se hace partícipe de la innovación, gestión ambiental y responsabilidad social.

## 6. VALIDACIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN

En este capítulo se realizará la validación matemática del modelo mediante un caso específico: un restaurante asignado por la empresa PROYECTAR GDC. Así mismo se describirá la manera de utilizar la herramienta que permitirá conocer los costos adicionales de diseñar un interior sostenible de acuerdo con la puntuación y la categoría LEED que se desea obtener. Se utilizará la función SOLVER (procedimiento para resolver problemas de programación lineal de Microsoft Excel), como herramienta de modelación de acuerdo con las características del restaurante.

### 6.1. Contextualización Del Caso Específico - Restaurante

Para la validación del modelo se tomará como caso específico un restaurante de comidas rápidas. Este restaurante fue seleccionado por los intereses y necesidades de PROYECAR GDC.

Por motivos de confidencialidad, se reserva la divulgación del nombre del restaurante. Sin embargo, es reconocido por la calidad de sus productos y la atención que brinda a sus clientes, lo que a su vez, lo compromete a tener unas instalaciones acordes con su prestigio, así como a mantener un mejoramiento continuo de cada uno de las técnicas y procedimientos empleados. Actualmente este restaurante está presente en varios sectores de Bogotá. Dentro de su filosofía se destaca el compromiso con el factor humano. Esto, los lleva a comprometerse con el medio ambiente como uno de los factores para lograr el crecimiento y reconocimiento en el mercado.

A continuación, en la tabla 1 se describen las características específicas del local tomado como objeto de estudio.

RESTAURANTE - CASO PARTICULAR	
Nombre del proyecto	Diseño Interior Restaurante
Razón social	Comercialización de comidas
Metros cuadrados totales (M2)	246
Tiempo estimado de construcción	4 meses
Ubicación	Zona Universitaria
Acceso a transporte público	Buses
Tipo de adecuación	Diseño Interior Sostenible

Tabla 1: Características del caso particular-Restaurante

A continuación se muestran fotos del lugar donde se proyecta el modelo.



Foto 1: Pasillo



Foto 2: Acceso segundo piso



Foto 3: baños



Foto 4: cocina

Para este restaurante se tendrá en consideración lo siguiente:

1. El propietario del restaurante quiere conocer las alternativas para convertir su negocio en un establecimiento sostenible ambientalmente, así como los costos del de esas alternativas.
2. El propietario es el único que decide la alternativa a elegir, de acuerdo con la inversión inicial y sujeto al presupuesto general.
3. El modelo está diseñado para conocer los costos adicionales de diseñar un interior comercial sostenible, por lo tanto no toma en cuenta las ventas o ingresos de la razón social del negocio. De acuerdo con esto, el empresario tomará la decisión de aceptar o rechazar la propuesta de acuerdo con el monto de dinero que desea invertir.
4. El propietario del restaurante quiere conocer los beneficios generados si decidiera implementar alguna de las categorías.

## 6.2 Herramienta Para Conocer Los Costos Óptimos

De acuerdo con la formulación matemática del modelo se planteó la siguiente hipótesis.

**Hipótesis:** La construcción del modelo será una representación precisa de las características esenciales de la situación, que permitirán que las conclusiones o soluciones obtenidas sean validas para el problema real.

Para responder dicha hipótesis se realizó la construcción de una herramienta que se elaboró con el objetivo de diseñar de la mejor manera interiores comerciales ambientalmente sostenibles.

Esta herramienta permitirá evaluar aspectos como la escogencia de tecnologías de acuerdo con la categoría LEED que se desea alcanzar, los créditos obtenidos y en consecuencia se conocerán los costos adicionales de diseñar el interior de manera sostenible.

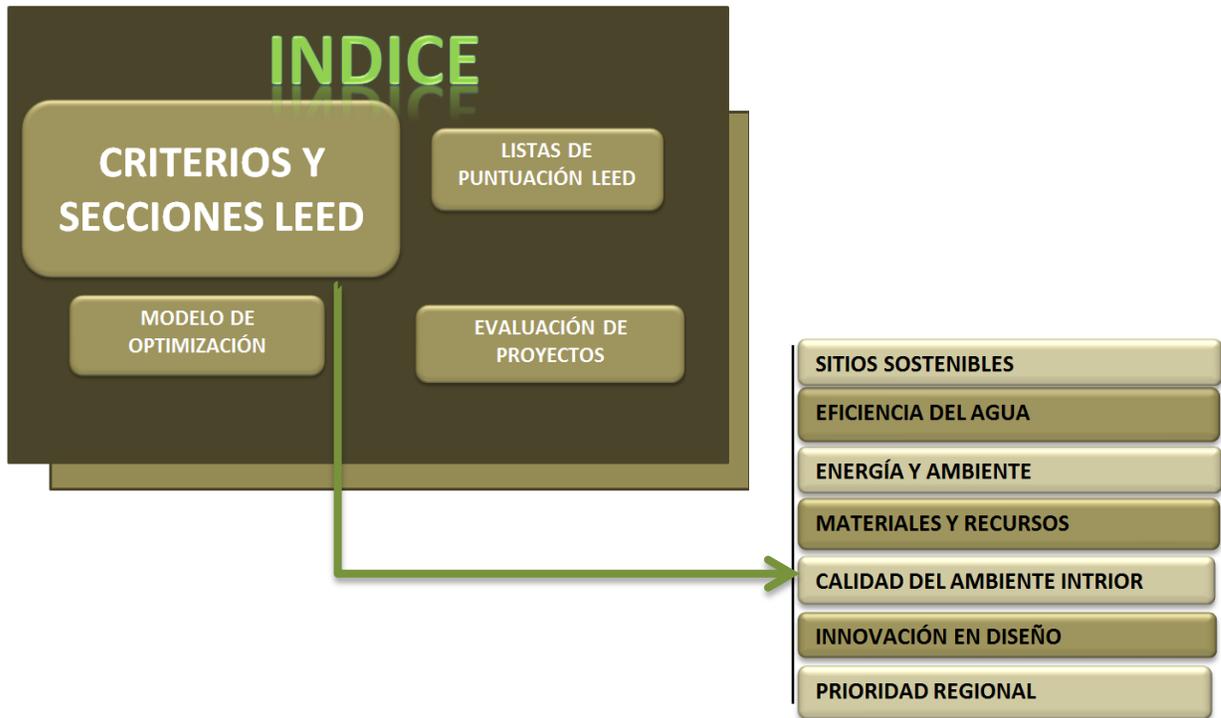
A continuación se muestra en detalle los componentes de la herramienta

**INDICE:** Es la página inicial de la herramienta. Está compuesta por:

- Criterios y secciones LEED
- Lista de puntuación LEED
- Modelo de optimización.
- Evaluación de proyectos



En el botón “Criterios y secciones LEED” se encuentra toda la información correspondiente a las especificaciones de cada uno de los créditos por los cuales se componen las secciones LEED para interiores comerciales, la certificación LEED esta compuesta por siete secciones de la siguiente manera.

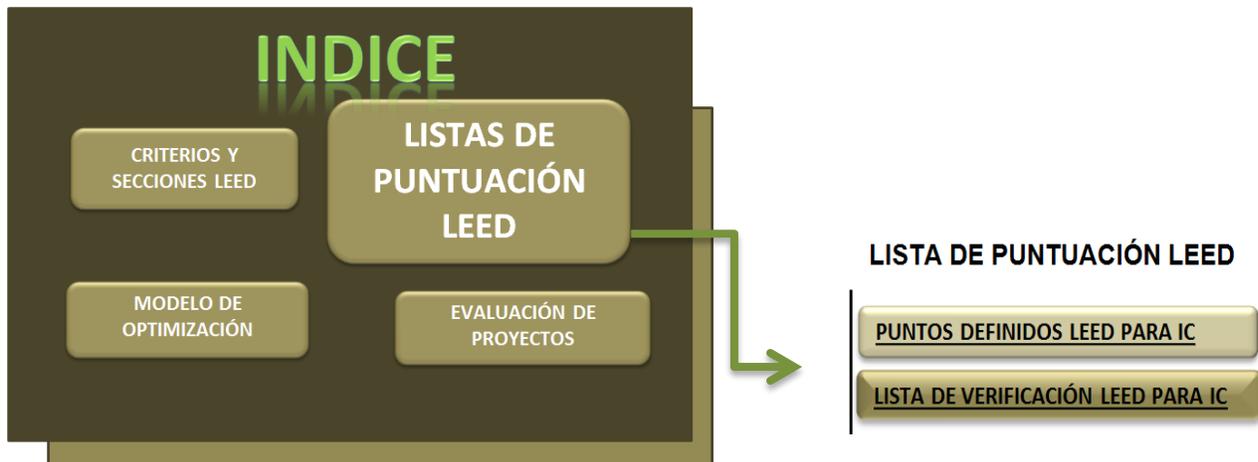


En cada botón se podrá encontrar la lista de créditos que componen esta sección con la información y característica correspondiente a cada uno de ellos. Por ejemplo para “Sitios sostenibles”. En las siguientes imágenes se muestra la información correspondiente a cada uno de las secciones por las que se estructura LEED.



PRIORIDAD REGIONAL	ILUSTRACIÓN	NOMBRE DEL CRÉDITO	DESCRIPCIÓN DEL CRÉDITO
<b>SITIOS SOSTENIBLE</b>			
	<b>Crédito 1 selección del sitio:</b>	Este Crédito da de 1 - 5 Puntos. Opción 1: Usted puede localizar su proyecto en un edificio certificado bajo calificación LEED. Opción 2: Ubicar el Local en terrenos con diseño de sistemas de captación de aguas lluvias (calidad del agua). Espacio que tenga presente reducción de la contaminación.	
	<b>Crédito 2 Densidad del Desarrollo y Conectividad Comunitaria</b>	Se centra en dos cuestiones básicas: La densidad del edificio y el acceso a los servicios de los ocupantes todos los días. Se aprovecha la infraestructura existente e intenta reducir los impactos del transporte.	
	<b>Crédito 3.1 Alternativa de</b>	Facilita el acceso a transporte público permitiendo así	

En el botón de “Listas de puntuación LEED” están los puntos definidos y la lista de verificación de la certificación Liderazgo en energía y diseño ambiental para interiores comerciales.



**Los puntos definidos por leed para interiores comerciales:** Es una lista general que permite visualizar los puntos y rangos definidos para cada uno de los créditos por los que se estructura LEED para interiores comerciales.

**\*Nota:** La lista de puntos definidos por LEED se puede visualizar mejor en el anexo A.

## LISTA DE PUNTUACIÓN LEED

PUNTOS DEFINIDOS LEED PARA IC

LISTA DE VERIFICACIÓN LEED PARA IC

LISTA DE VERIFICACIÓN LEED PARA INTERIORES COMERCIALES	
LEED 2009 Para Interiores Comerciales	
	Lista de verificación
<b>SITIOS SOSTENIBLES</b>	Puntos posibles <b>21</b>
Y ? N	
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
d Crédito 1	Selección del sitio 1 a 5
<input type="checkbox"/>	Opción 1: Seleccionar un edificio LEED Certificado 5
<input type="checkbox"/>	Ruta 1: Desarrollo de terrenos contaminados abandonados 1
<input type="checkbox"/>	Ruta 2: Diseño aguas pluviales—Control de la cantidad 1
<input type="checkbox"/>	Ruta 3: Diseño aguas pluviales—Control de la calidad 1
<input type="checkbox"/>	Ruta 4: Reducir los efectos de la isla de calor—no cubierta 1
<input type="checkbox"/>	Ruta 5: Reducir los efectos de la isla de calor—cubierta 1

CRITERIOS  
DETALLADOS  
PARA LA  
OBTENCIÓN DE  
PUNTOS

**LISTA DE VERIFICACIÓN LEED PARA INTERIORES COMERCIALES:** Es un formato definido por la certificación liderazgo en energía y desarrollo. Muestra en detalle las opciones de obtener puntos por cada crédito.

## LISTA DE PUNTUACIÓN LEED

PUNTOS DEFINIDOS LEED PARA IC

LISTA DE VERIFICACIÓN LEED PARA IC

**\*Nota:** La lista de verificación LEED para interiores comerciales se puede visualizar completa en el anexo B.

**PUNTOS DEFINIDOS LEED PARA INTERIORES COMERCIALES**

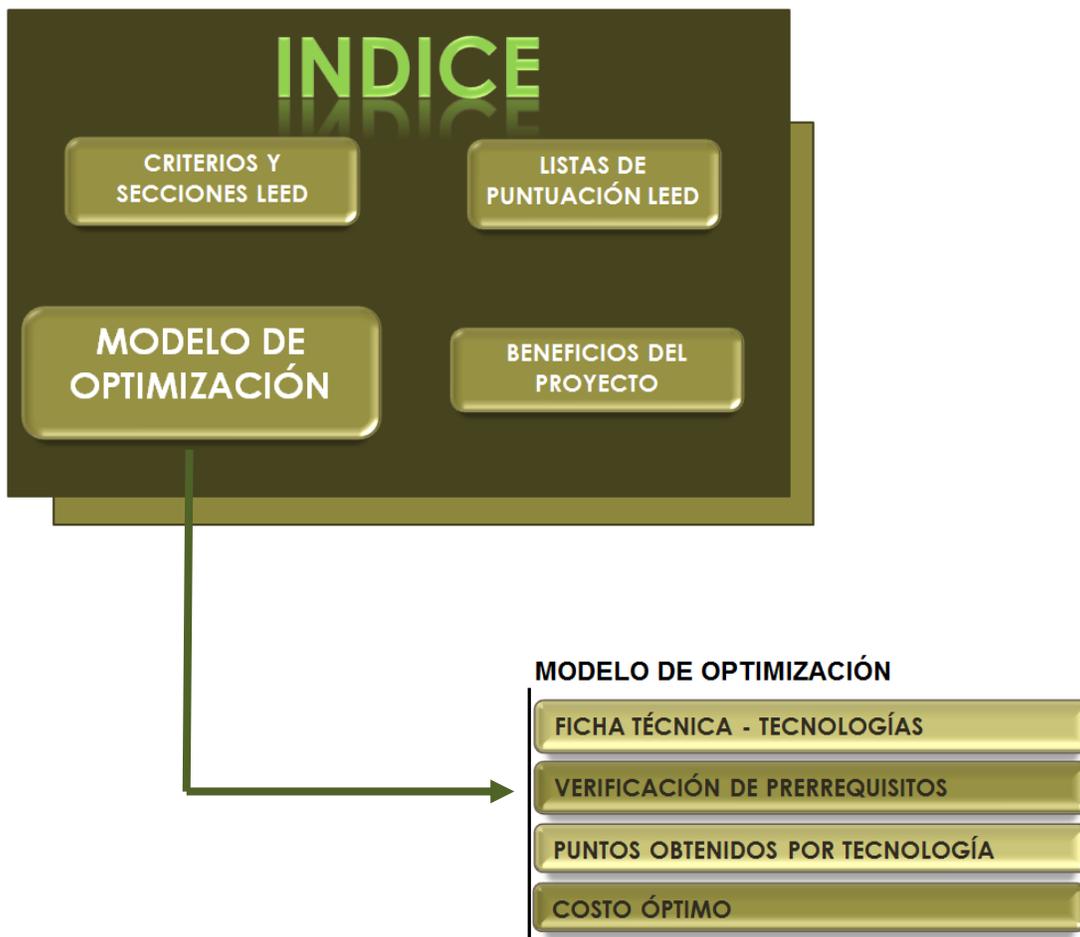
SITIOS SOSTENIBLES		PUNTUACION
Crédito 1	Crédito 1 selección del sitio	1-5
Crédito 2	Crédito 2 Densidad del Desarrollo y Conectividad Comunitaria	6
	Crédito 3.1 Alternativa de transporte - Acceso a transporte público	6
Crédito 3.2	transporte, Almacenamiento de bicicletas y vestuario	2
Crédito 3.3	Crédito 3.3 alternativa de transporte, disponibilidad de parqueadero	2
EFICIENCIA DEL AGUA		PUNTUACION
Pre requisito 1	Prerrequisito 1 Reducción en el uso del agua	Requisito
Crédito 1	Crédito 1 Reducción en el uso del agua	6-11

RANGO DE PUNTUACIÓN

PUNTUACIÓN ÚNICA

CRÉDITO OBLIGATORIO DE CUMPLIR

En el botón “Modelo de optimización” se podrá encontrar la ficha técnica de las tecnologías utilizadas para la validación del modelo; La tabla de prerrequisitos; Los puntos obtenidos por tecnología y el costo óptimo de acuerdo a los puntos que se quieren obtener.



**-FICHA TÉCNICA– TECNOLOGÍAS** En esta sección se muestran las fichas técnicas de tecnologías utilizadas para la validación del modelo. Estas fichas técnicas permitirán conocer las características principales de cada tecnología. La tabla está compuesta por los siguientes ítems:

- Número de la tecnología: Es la cifra consecutiva de cada una de las tecnologías seleccionadas.
- Nombre de la tecnología: Calificativo utilizado para reconocer a que hace referencia la tecnología.
- Imagen: Dibujo descriptivo de la tecnología.
- Descripción: Este campo hace referencia a la explicación de la funcionalidad de la tecnología, sus características principales y hace relevancia al tipo de contribución frente al medio ambiente.
- Puntos obtenidos por implementación: De acuerdo con la lista de verificación se denotará el número de puntos que se pueden alcanzar si se implementa dicha tecnología. Más adelante en esta sección se conocerá como llenar este campo.
- Especificaciones unitarias: Este campo hace referencia a la unidad de medida, precio e impacto ambiental mitigado de acuerdo a lista LEED (Anexo 1) por cada una de las tecnologías.
- Parámetros - caso específico: En este campo se especifica la cantidad de tecnología necesaria de acuerdo al interior que se desea diseñar y el costo total de implementación que está definido cómo el precio unitario por la cantidad necesaria.

#### MODELO DE OPTIMIZACIÓN



FICHAS TÉCNICAS				ESPECIFICACION POR TECNOLOGÍA			PARAMETROS CASO ESPECÍFICO	
TECNOLOGÍA	IMAGEN	DESCRIPCIÓN	PUNTOS OBTENIDOS POR IMPLEMENTACIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO	IMPACTO	Cantidad	Costo total
Microcapsulas Acricas O thermalcore		Micro cápsulas acrílicas están rellenas con una cera de parafina capaz de absorber el calor de los edificios durante el día y liberarlo por la noche, eliminando la necesidad de utilizar aire acondicionado bajo ciertos tipos de clima. Estas capsulas se instalan en el vacío de las laminas de yeso, o drywall.	EA6 (7 Ptos)	Metro cuadrado	\$78,000	Ahorro del 20% de energía	150	\$11,700,000
Sensores de luz		Estos sensores detectan el movimiento o la presencia de alguien o algo, y se activaran. Esto permite ahorrar energía debido que mientras no se necesita esta permanecerá apagada.	EA2 (Req), EA4 (1 Pto), EA5 (1Pto)	Unidad	\$36,000	Ahorro del 15% de energía	3	\$ 108,000

**\*Nota:** En el anexo C se puede visualizar la ficha técnica de tecnologías completa.

### TABLA DE VERIFICACIÓN DE PRERREQUISITOS

En esta matriz figuran las tecnologías que cumplen o no alguno de los prerrequisitos definidos por la certificación LEED. Si la tecnología i cumple algún prerrequisito se denotará como 1, si no como 0. La certificación liderazgo en energía y desarrollo sostenible estableció para interiores comerciales siete prerrequisitos que se deben cumplir obligatoriamente.

#### MODELO DE OPTIMIZACIÓN



PRERREQUISITOS LEED				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>EFICIENCIA DEL AGUA (WE) (11 puntos posibles)</b>	Reducción en el uso del agua	Prerrequisito 1	WE1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Instalación fundamental de	Prerrequisito 1	EA1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>ENERGIA Y AMBIENTE (EA) (37 puntos posibles)</b>	Rendimiento mínimo de energía	Prerrequisito 2	EA2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Manejo fundamental de	Prerrequisito 3	EA3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Almacenamiento y recolección de materiales reciclables	Prerrequisito 1	MR1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>CALIDAD DE AMBIENTE INTERIOR (CAI) (17 puntos posibles)</b>	Rendimiento mínimo de la calidad del ambiente interior	Prerrequisito 1	CAI1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Control de humo de tabaco en el ambiente	Prerrequisito 2	CAI2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

LA TECNOLOGÍA 3 SI CUMPLE EL PRERREQUISITO CAI2

LA TECNOLOGÍA 5 NO CUMPLE EL PRERREQUISITO CAI1

- **PUNTOS OBTENIDOS POR TECNOLOGÍA:**

En este cuadro se consolidan todos los puntos obtenidos por cada una de las tecnologías. En la parte inferior se encuentran los puntos totales y el costo total por cada tecnología.

**MODELO DE OPTIMIZACIÓN**



CRITERIOS LEED				5	6	
diseño (ID)	Leed acreditado profesional	Crédito 2	ID2	0	0	
Prioridad regional (PR)	Prioridad regional	Crédito 1	PR1	0	1	
<b>TOTAL PUNTOS POR TECNOLOGIA IMPLEMENTADA</b>				<b>14</b>	<b>6</b>	
<b>Costo de implementación de acuerdo a los parámetros</b>				<b>\$ 1,250,000</b>	<b>\$ 2,520,000</b>	<b>\$ 7</b>

SIGNIFICA QUE LA TECNOLOGÍA 5 APORTA 14 PUNTOS CON UN COSTO DE \$ 1.250.000 PESOS

- En el mismo cuadro de puntos obtenidos por tecnología se pueden visualizar cada uno de los puntajes alcanzados para cada una de las tecnologías por cada uno de los créditos. Si la tecnología no cumple ningún crédito el campo se completa con un cero.

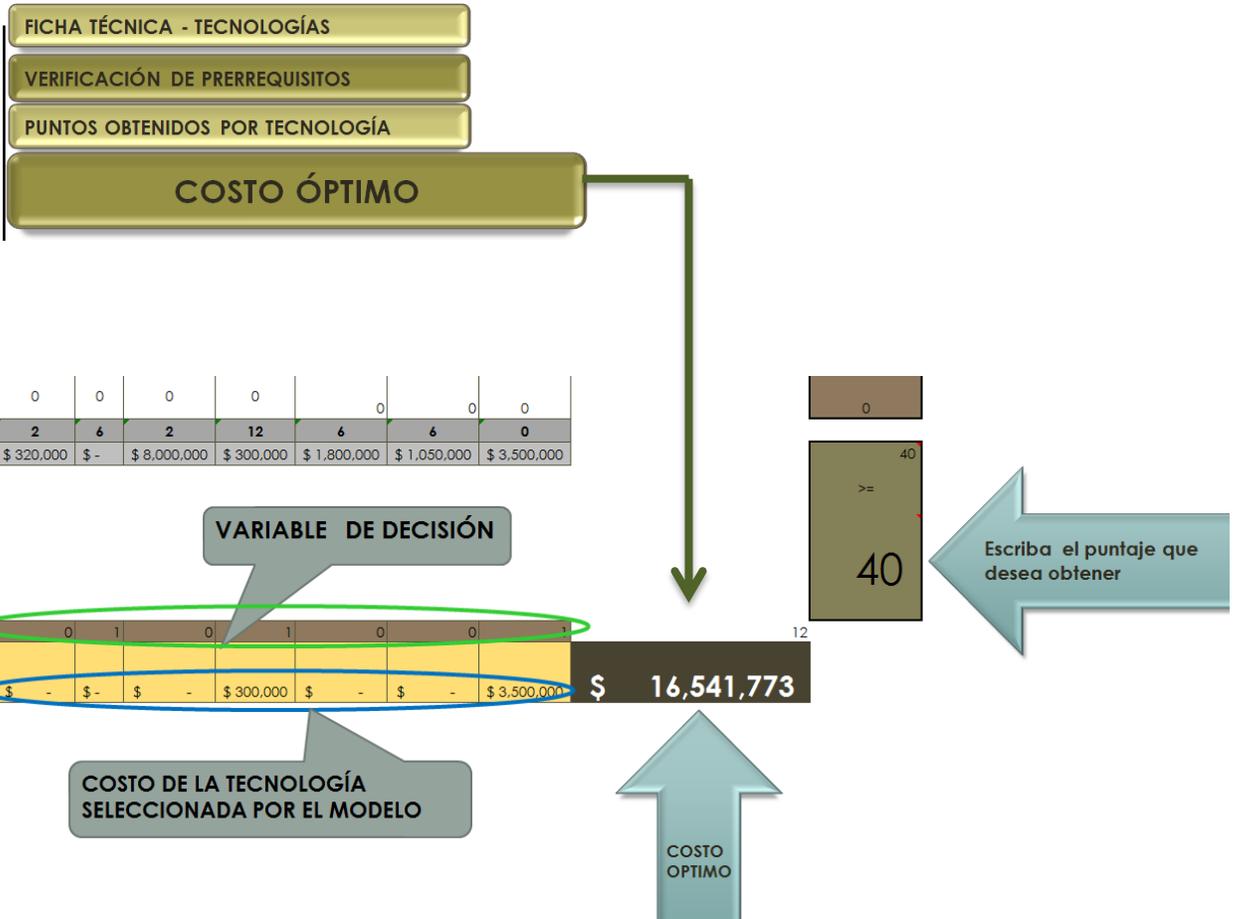
CRITERIOS LEED				5	6	7
<b>SITIOS SOSTENIBLES (S.S) (21 puntos posibles)</b>	Selección del sitio:	Crédito 1	SS1	2	0	0
	Densidad del Desarrollo y Conectividad Comunitaria	Crédito 2	SS2	0	0	0
	Alternativa de transporte - Acceso a transporte público	Crédito 3,1	SS3	0		
	Alternativa de transporte, Almacenamiento de bicicletas y vestuario	Crédito 3,2	SS4	0		
	Alternativa de transporte, disponibilidad de parqueadero	Crédito 3,3	SS5	0		
<b>EFICIENCIA DEL AGUA (WE) (11 puntos posibles)</b>				<b>6</b>		
<b>ENERGIA Y AMBIENTE (EA) (37 puntos)</b>	Optimizar el rendimiento de la energía – iluminación energética	Crédito 1,1	EA4	0		
	Optimizar el rendimiento de la energía – Controles de iluminación	Crédito 1,2	EA5	0		
	Optimizar el rendimiento de la energía – HVAC (Calefacción,			0	0	0

LA TECNOLOGÍA 5 NO CUMPLE EL CRÉDITO J

LA TECNOLOGÍA 5 CUMPLE EL CRÉDITO WE2 Y OBTENDRÍA 6 PUNTOS SI SE IMPLEMENTARA

Por medio de la programación del modelo de optimización, se conocerán los costos óptimos de diseñar interiores sostenibles según los puntos que se desea obtener. El usuario puede modificar esta puntuación de acuerdo al rango entre 40 y 110 puntos, el usuario solo podrá conocer los costos óptimos de puntuación entera.

#### MODELO DE OPTIMIZACIÓN



En el botón de “Evaluación de proyectos” se podrá encontrar la relación beneficio – costo para cada una de las categorías por las que se estructura LEED (básica, plata, oro, platino).



## **7. BENEFICIOS DE DISEÑAR INTERIORES COMERCIALES AMBIENTALMENTE SOSTENIBLES**

En este capítulo se muestran los beneficios cualitativos y cuantitativos de implementar tecnologías y/o materiales verdes obtenidos a partir del modelo de optimización para diseñar interiores comerciales ambientalmente sostenibles.

### **7.1 Beneficios Cualitativos**

Proyectar GDC lleva un tiempo relativamente corto en el mercado. No obstante, está creciendo aceleradamente, y de acuerdo con sus objetivos, se busca que una de sus fortalezas consista en ofrecer productos ambientalmente sostenibles. Esta iniciativa le permitirá ser reconocida con miras a expandirse en su campo de acción en el negocio. Para lograrlo, sin embargo, es importante que conozca los beneficios que se obtienen con la implantación de interiores comerciales ambientalmente sostenibles. Así podrá dar a conocer a los clientes los ahorros efectivos que genera este tipo de construcción, así como las ventajas competitivas que adquirirán.

Es una realidad que el hecho de construir sin atender de manera consiente a prácticas adecuadas de sostenibilidad, está afectando directamente al medio ambiente. También es evidente la necesidad inaplazable de hacer un buen uso de los recursos naturales y contar con espacios ambientalmente sostenibles, saludables y, por supuesto, rentables.

Aunque construir sosteniblemente incrementa los costos dependiendo de la categoría en la que se quiera certificar --de acuerdo con los datos obtenidos para este proyecto, la inversión adicional aumenta desde un 9%, por ejemplo, para la categoría básica (Ver anexo I) —, también genera beneficios: se alcanzan ahorros de hasta 40% en servicios y mantenimiento (Ver anexo M: Consumo y ahorros por categoría).

Los beneficios que se obtienen con la implementación de tecnologías verdes se manifiestan en aspectos diversos como los espacios interiores agradables, por ejemplo, lo cual contribuirá a la salubridad y bienestar de los trabajadores, permitiéndoles un mejor desempeño. En consecuencia la empresa se favorecerá con el aumento de la productividad, permitiéndole, a su vez, ofrecer productos de calidad que le darán reconocimiento en el mercado. Así mismo dentro de los beneficios obtenidos de tener interiores sostenibles se encuentra el liderazgo en la divulgación y fomentación de la conciencia ambiental para formar buenas prácticas en el uso de los recursos naturales.

Por otro lado, el estado premia a las entidades comprometidas con el medio ambiente mediante incentivos tributarios para los empresarios que apliquen una cultura de conservación ambiental. Algunos de los incentivos descritos por el estatuto tributario en su artículo 424 son<sup>20</sup>: exención en el IVA, deducción en el impuesto de renta y complementarios, incentivo para el impulso a las actividades de investigación.

Así pues, es evidente: tener interiores comerciales ambientalmente sostenibles es rentable. Le permite al empresario crecer en el mercado, tener reconocimiento, ahorrar dinero, y hacer buen uso de los recursos naturales.

## 7.2 Beneficios Cuantitativos

Así como el diseño del modelo de optimización busca acceder a las tecnologías que menos costo demandan pero que más beneficios generan, el desarrollo de este proyecto, además, tiene como objetivo alcanzar los beneficios generados por la implementación de dichas tecnologías.

Para conocer los beneficios cuantitativos de tener interiores comerciales ambientalmente sostenibles se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

1. Cuando se expresa la palabra beneficio se hace referencia a los ahorros que se obtienen por tener un diseño ambientalmente sostenible.
2. Cuando se expresa la palabra costos, se hace referencia al valor de la implementación de cada una de las tecnologías.
3. De acuerdo con las tecnologías proveídas por el modelo de optimización diseñado para cada una de las categorías LEED, se tuvieron en cuenta los porcentajes de ahorro de cada una de ellas según su naturaleza (ahorro en agua, energía, o mantenimiento). Estos porcentajes de ahorro se adquirieron de acuerdo con la ficha técnica de cada una de las tecnologías en la columna de "IMPACTO" (ver anexo C)

Ejemplo: En la tabla2, se muestra el impacto que genera la tecnología 1 si es seleccionada por el modelo para su implementación. En este caso las micro capsulas acrílicas, tendrán un ahorro del 20% en energía, definido en la columna de "IMPACTO".

---

<sup>20</sup> Estatuto tributario, Artículo 424: Beneficios tributarios ambientales. En [línea]. Disponible en [http://www.slideshare.net/aleja1305/trabajo-cts-ambientales1?from=share\\_email](http://www.slideshare.net/aleja1305/trabajo-cts-ambientales1?from=share_email)

Nº	TECNOLOGÍA	IMAGEN	FUENTE	IMPACTO
1	Microcapsulas Acricas O thermalcore		<a href="http://www.technologyreview.es/read_article.aspx?id=36082&amp;pg=2">http://www.technologyreview.es/read_article.aspx?id=36082&amp;pg=2</a>  <a href="http://thermalcore.info/product-info">http://thermalcore.info/product-info</a> <a href="http://thermalcore.info/news/P">http://thermalcore.info/news/P</a>	Ahorro del 20% de energía

Tabla 2: Ficha técnica tecnologías anexo c; elaboración propia.

- Se conocerán los beneficios por cada una de las tecnologías y/o materiales verdes y así el beneficio total por cada categoría LEED.
- Se tuvieron en cuenta los costos adicionales requeridos para la implementación de las tecnologías seleccionadas por el modelo, dentro de cada una de las categorías de acuerdo con el restaurante tomado como caso específico. Tabla 3.

CATEGORIA	COSTO ADICIONAL
Básica	\$16,617,500.00
Plata	\$17,631,004.00
Oro	\$19,201,664.00
Platino	\$38,664,337.68

Tabla 3: Costo adicional de implementar tecnologías verdes por categoría, elaboración propia.

- La empresa Proyectar GDC, suministró los consumos de agua, energía y los costos de mantenimiento que se obtuvieron en el 2011 de un local comercial similar, perteneciente a la cadena del restaurante que se tomó en este proyecto como objeto de estudio. Estos consumos en servicios públicos y mantenimiento son tomados como los *consumos actuales*. Para los consumos después de la eventual implementación de las tecnologías que generan ahorros, se mencionan como *consumos propuestos*.

A continuación se presentan los consumos en servicios y mantenimientos del 2011, que se tomaron como *consumo actual*.

Concepto	CONSUMO ACTUAL		
	Energía	Agua	Mantenimiento
Enero	\$2,363,550		\$3,200,000
Febrero	\$2,383,921	\$1,681,760	\$1,500,000
Marzo	\$2,400,750		\$650,000
Abril	\$2,465,315	\$1,693,123	\$1,800,000
Mayo	\$2,623,503		500000
Junio	\$2,533,400	\$1,602,217	\$850,000
Julio	\$2,341,680		\$1,230,000
Agosto	\$2,384,807	\$1,715,850	\$1,100,000
Septiembre	\$2,844,940		\$1,480,000
Octubre	\$2,422,450	\$1,647,670	\$1,246,000
Noviembre	\$2,424,664		\$560,000
Diciembre	\$2,552,208	\$1,704,486	\$2,600,000
<b>Consumo Actual al Año</b>	<b>\$29,741,188</b>	<b>\$10,045,106</b>	<b>\$16,716,000</b>

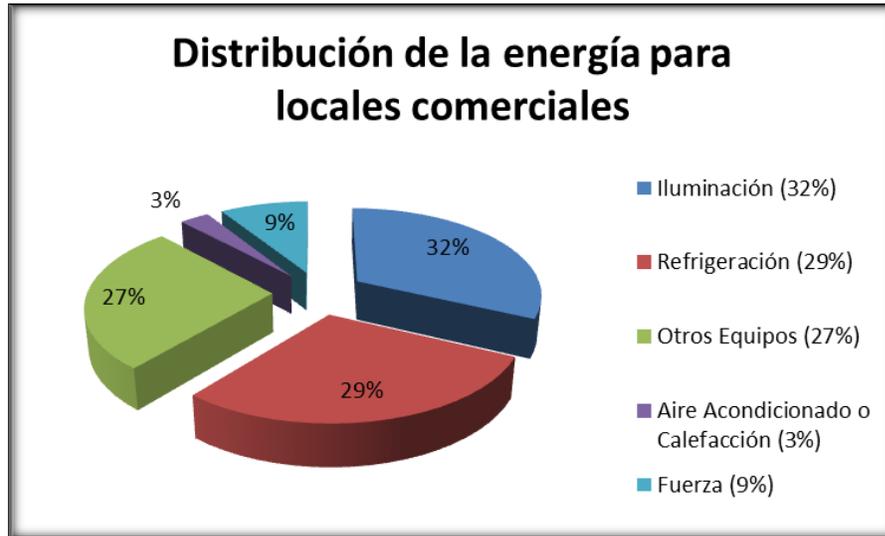
Tabla 4: Consumo de energía, agua y mantenimiento actual: elaboración propia con datos suministrados por PROYECTAR GDC.

En la tabla 4, se puede observar que los mayores consumos de energía se dieron en los meses de mayo y septiembre debido a las festividades nacionales, mes de la madre y amor y amistad respectivamente. El consumo de energía en mayo aumentó un 6% con respecto al promedio del consumo mensual que es de \$2.400.000. El mayor costo de mantenimiento se dio en el mes de enero, ya que es costumbre de la cadena de este restaurante adecuar las instalaciones para empezar el año, este costo es de alrededor de \$3.000.000.

7. Para las tecnologías que influyen en el consumo energético, se tuvo en cuenta la proporción o distribución de la energía en locales comerciales por secciones definidas de acuerdo con la investigación realizada por la facultad de física de la universidad Nacional de Colombia<sup>21</sup>.

En esta investigación la energía esta dividida por grupos de acuerdo con su uso final. Para este proyecto se tuvo en cuenta la siguiente distribución por secciones y el porcentaje de consumo para los locales comerciales según la investigación. Gráfica 1.

<sup>21</sup> Dto física. Caracterización del consumo de energía final en los sectores terciario, grandes establecimientos comerciales, centros comerciales y determinación de consumo para sus respectivos equipos de uso de energía, Universidad Nacional. En [línea], Disponible en <http://www.corpoema.net/Informacion%20FNCE/Eficiencia/INFORME%20FINAL%20TERCIARIO.pdf> consulta {marzo, 2012}



Gráfica 1: Distribución de la energía para locales comerciales, Fuente: Dpto. de física UNAL.

- **Consumo por Iluminación:** Es el consumo de energía eléctrica por la iluminación del local. El porcentaje de energía consumida por iluminación es del 32%. Los siguientes son elementos que hacen parte de este grupo:
  - a. Bombillos
  - b. Lámparas
  - c. Reflectores
  
- **Consumo por refrigeración:** El porcentaje de energía consumida por conceptos de refrigeración es del 29%. Los equipos que hacen parte de esta sección son:
  - a. Congeladores para la conservación de alimentos
  - b. Neveras
  - c. Vitrinas de refrigeración.
  
- **Consumo por fuerza:** Hacen parte de este grupo los equipos que requieren de grandes potencias para su funcionamiento. El porcentaje de consumo por fuerza es de 9% del total de la energía consumida.
  - a. Ascensores
  - b. Escaleras eléctricas
  - c. Extractores
  
- **Consumo por aire acondicionado o calefacción:** Son los equipos que requieren de energía para la climatización del interior. El porcentaje de

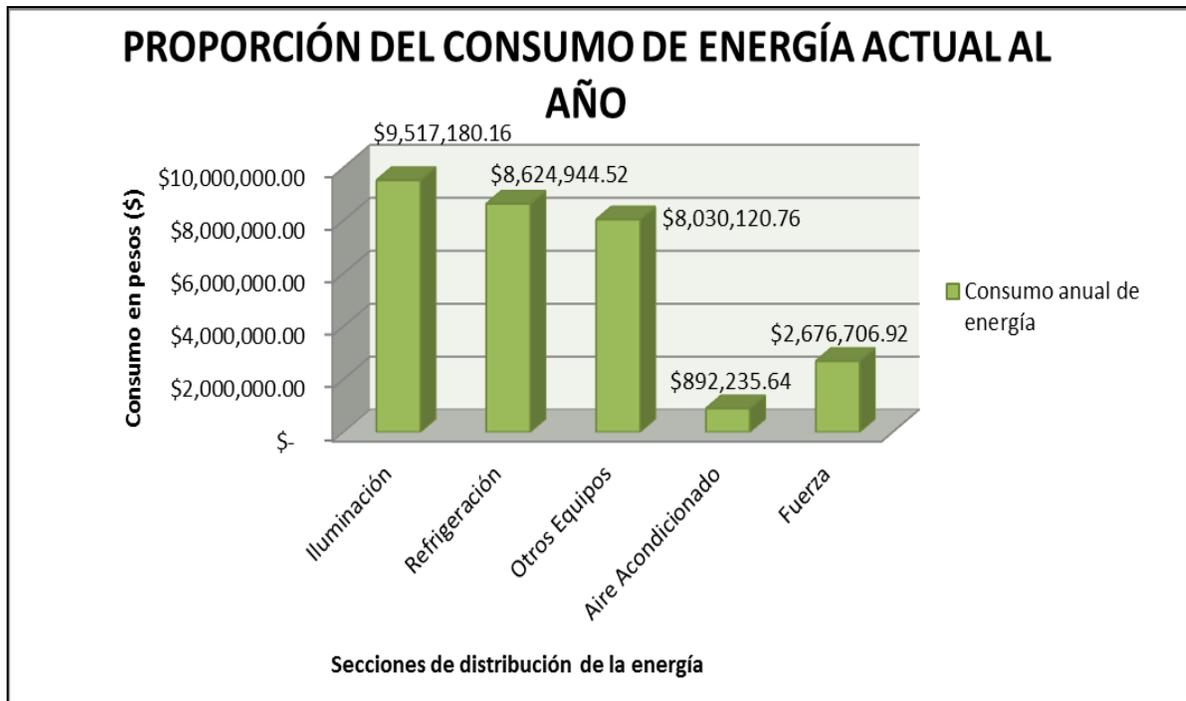
consumo por aire acondicionado y calefacción es del 3%. Los equipos que hacen parte de esta sección son:

- a. Aire acondicionado
- b. Sistema de calefacción
- c. Sistemas de ventilación.

- **Consumo por otros equipos:** Dentro de esta categoría se encuentran las maquinas propias según la actividad económica, y los electrodomésticos. Esta categoría consume el 27% del total de la energía. Ejemplo:

- a. Licuadoras
- b. Hornos microondas
- c. Hornos eléctricos convencionales

De acuerdo con lo anterior la proporción de la energía en el *consumo actual* en iluminación, refrigeración, aire acondicionado o calefacción, otros equipos y fuerza se muestra en el grafico 2.



Gráfica 2: Proporción del consumo actual de energía. Elaboración propia de acuerdo con los datos suministrados por PROYECTAR GDC.

Teniendo en cuenta la gráfica 2 se puede observar que en el *consumo actual* de energía, el mayor gasto es por concepto de iluminación, ya que la compañía tuvo que pagar un costo aproximado de \$9.500.000, del total de la factura que fue de \$ 29.741.000 en el año. Este elevado consumo se da debido a la actividad económica del restaurante que requiere utilizar equipos eléctricos. Este tipo de negocios no emplean mayor porcentaje en fuerza debido a que solo tienen un equipo que son los extractores que consumen un porcentaje del 9% de la energía total.

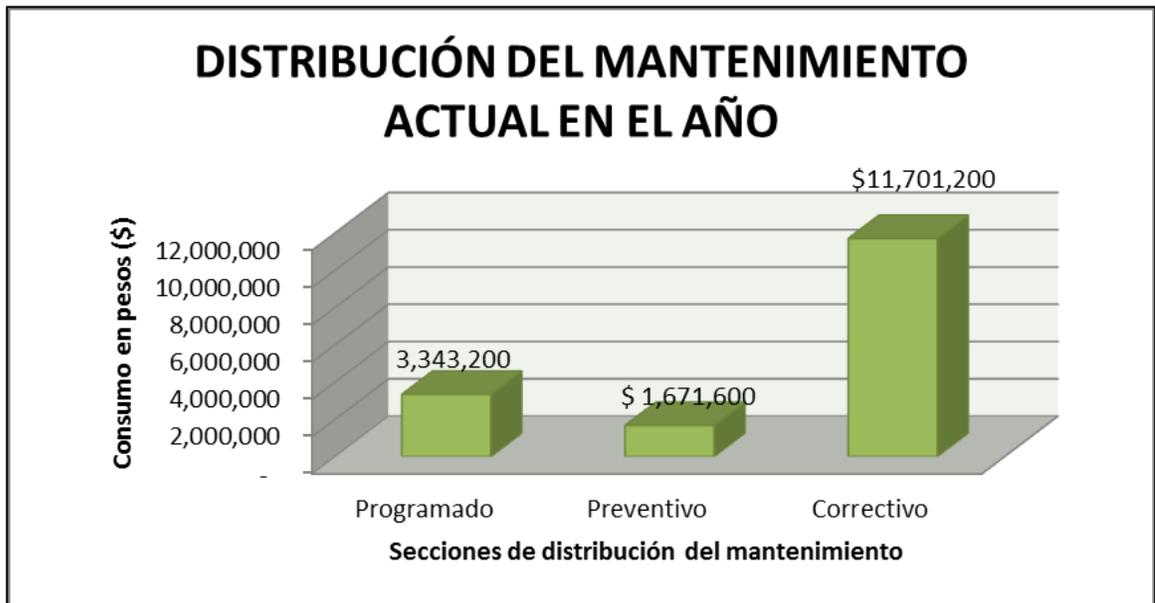
En el anexo M, en la tabla 1 se encuentran los consumos actuales de energía, detallados por meses y de acuerdo con la distribución descrita anteriormente.

8. De acuerdo con la experiencia obtenida por Proyectar GDC, se conoce que la proporción de los costos de mantenimiento son: el mantenimiento programado ocupa un 20%, mantenimiento preventivo ocupa un 10%, y el mantenimiento correctivo ocupa el 70% de los costos totales de mantenimiento. Estos porcentajes se dan de acuerdo con los hábitos adoptados por la empresa.



Gráfica 3: Proporción de los costos de mantenimiento. Elaboración propia de acuerdo a los datos suministrados por PROYECTAR GDC.

En las gráficas 3 y 4 se muestra como la empresa espera al deterioro de las instalaciones y a que los equipos dejen de funcionar para corregir los daños. Este mantenimiento le representa al restaurante un costo de \$11.700.000 aproximadamente del total del mantenimiento en el año que fue de \$ 16.700.000. (Ver anexo M, tabla 3)



Gráfica 4: Distribución de mantenimiento actual en el año. Elaboración propia de acuerdo con los datos suministrados por PROYECTAR GDC.

Teniendo en cuenta los aspectos anteriores, en las siguientes secciones se analiza cada uno de los beneficios a conseguir con las tecnologías seleccionadas por el modelo y el beneficio total por cada categoría LEED. Esto se hace con el objetivo de mostrarle a Proyectar GDC los ahorros obtenidos y que estos sean utilizados como base para ofrecer el diseño de interiores comerciales ambientalmente sostenibles a sus clientes. Así Proyectar GDC tendrá la oportunidad de ser competente en el mercado y aumentar sus utilidades netas.

#### 7.2.1. Beneficios Para La Categoría Básica

En esta sección se evalúan los beneficios de tener un interior sostenible por cada una de las tecnologías necesarias para obtener la certificación básica.

Se escogieron las tecnologías arrojadas por el modelo para esa categoría en su puntaje mínimo (40). Para conocer los beneficios de esta categoría, se dividirán las tecnologías de acuerdo con el impacto, así: energía, agua y mantenimiento. Se conocerán así los ahorros que se alcanzarían en cada uno de dichos impactos, obteniendo así el ahorro general.

Las tecnologías arrojadas por el modelo diseñado, para obtener una certificación básica con 40 puntos se presentan en la tabla 5 con sus respectivos costos de implementación.

<b>Costos De Implementación por tecnología para la categoría Básica</b>			
<b>Análisis Cuantitativo</b>	E	Sensor de Luz	\$108,000.00
		Led bombillo	\$2,600,000.00
		Sistema de aprovechamiento de la luz natural	\$650,000.00
		Extractor eólico	\$2,709,000.00
		Foco Led	\$300,000.00
	A	Contenedor de aguas lluvias	\$1,250,000.00
		Grifos autónomos	\$1,433,600.00
	M	Intercambiador de aire	\$1,273,300.00
		Stoclimasan Pintura	\$2,693,600.00
		Sensor de presión de agua	\$100,000.00
<b>Análisis Cualitativo</b>	Gestión de residuos de la construcción		\$3,500,000.00
	Acceso a transporte público		\$ -
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$16,617,500.00</b>

Tabla 5: Tecnologías para la categoría básica arrojadas por el modelo de optimización. Elaboración propia

Las letras A, E, M, expresadas en la tabla 5 simbolizan que el ahorro se verá reflejado en los consumos de agua, energía y mantenimiento respectivamente.

En la tabla 6 se muestra que el costo adicional de tener un interior sostenible para la categoría básica es \$ **16, 617,500**. Este costo adicional es arrojado por el modelo de optimización. Las tecnologías se subdividieron en dos categorías. La primera es la categoría de análisis cuantitativo y la segunda la de análisis cualitativo. Las tecnologías que se encuentran en la segunda categoría generan beneficios cualitativos.

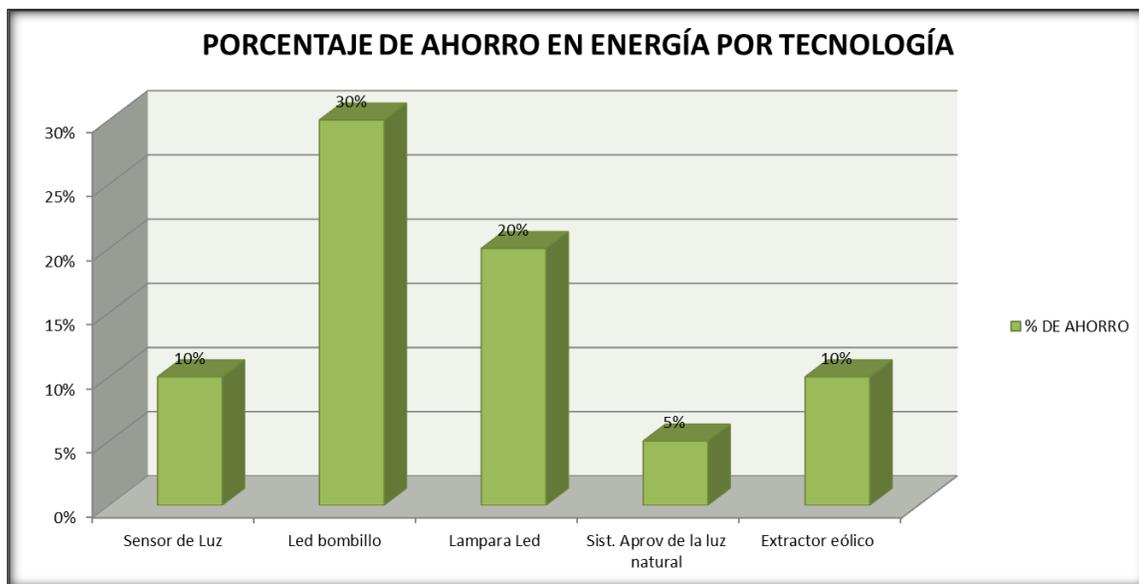
El costo adicional para la categoría básica representará los siguientes beneficios:

- **Beneficios Por Concepto Del Servicio De Energía – Categoría Básica**

Las tecnologías arrojadas por el modelo de optimización que permitirán ahorrar un consumo de energía se presentan en la tabla 6.

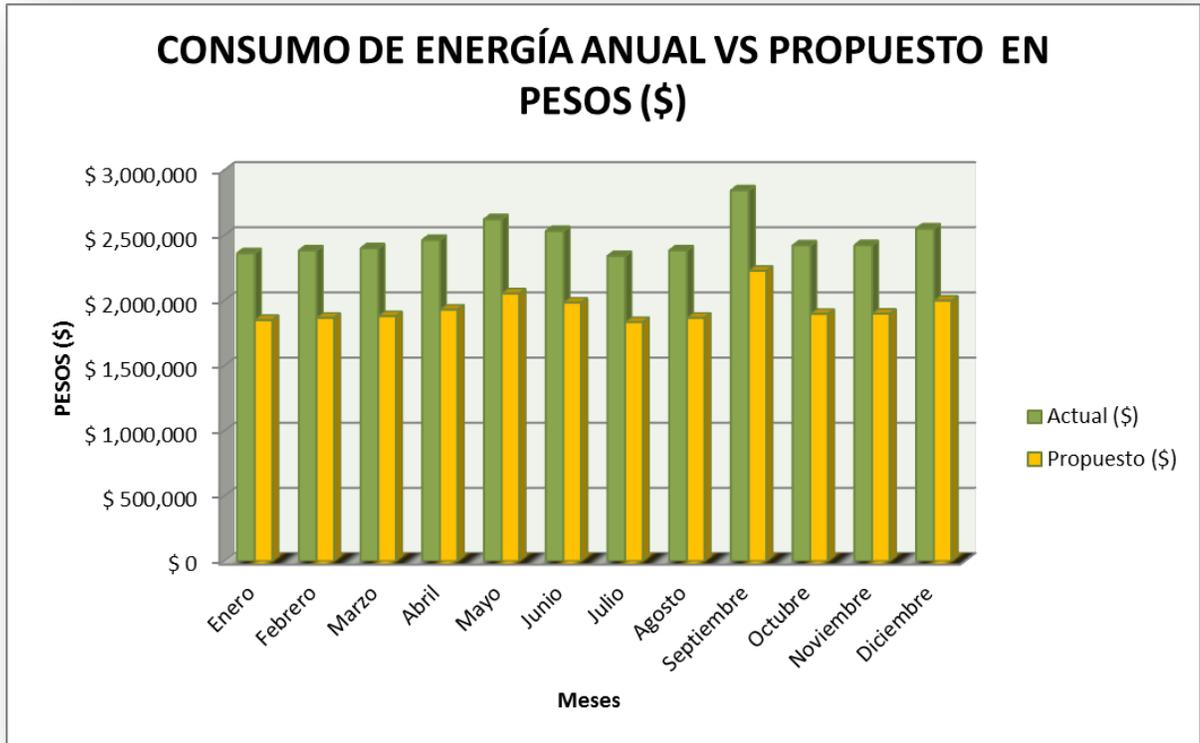
	Tecnología	Costo
E	Sensor de Luz	\$108,000.00
	Bombillos Led	\$2,600,000.00
	Sistema de aprovechamiento de la luz natural	\$650,000.00
	Extractor eólico	\$2,709,000.00
	Lamparas Led	\$300,000.00

Tabla 6: Tecnologías con beneficios energéticos para la categoría básica. Elaboración propia



Gráfica 5: Porcentaje de ahorro en energía por tecnología para la categoría básica. Elaboración propia.

En la gráfica 5, se muestra que el modelo de optimización arrojó cinco tecnologías que generan ahorros en el servicio de la energía. La tecnología que mayor beneficio genera es el bombillo Led, en el que el porcentaje de ahorro es del 30% de la sección de iluminación. El 65% del ahorro obtenido se da en la sección de iluminación y el 10% del ahorro se obtiene por la sección de fuerza dada por el consumo del extractor. (Ver anexo N tabla 1).



Gráfica 6: Consumo de energía anual VS presupuesto en pesos (\$). Elaboración propia.

En la gráfica 6 se muestra que en promedio el consumo por energía mensual actual es de \$ 2.478.000 pesos, pero si se implementan las cinco tecnologías anteriores el empresario podrá ahorrar \$ 6.453.838 al año. Los que significan un consumo promedio al mes de \$ 1.940.000, que corresponde a un ahorro del 22%.

COMPARACIÓN GASTO DE ENERGÍA		
CONSUMO DE ENERGÍA	Actual (\$)	Propuesto (\$)
TOTAL AÑO	\$ 29,741,188	\$ 23,287,350

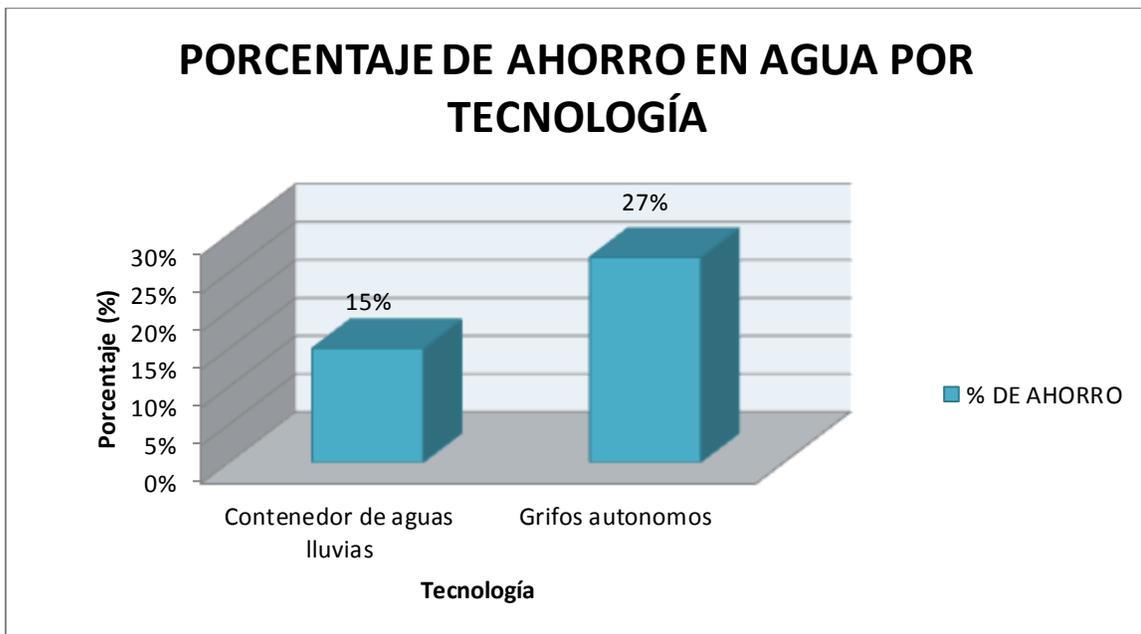
Así entonces, si actualmente en el servicio de energía el propietario gasta un total de \$29.700.000 aproximadamente, con la implementación de los sensores de luz, de los bombillos led, foco led, sistema de aprovechamiento de la luz natural y extractor eólico, el propietario del restaurante llegará a pagar \$23.300.000 aproximadamente al año, lo que significa un ahorro total al año de \$ 6.453.838 en la factura de la energía. Esto significa un porcentaje de ahorro del 22%. (Ver anexo N, tabla 1)

- **Beneficios Por Concepto Del Servicio De Agua - Categoría Básica**

Las tecnologías arrojadas por el modelo de optimización que permitirán ahorrar en el consumo de agua se presentan en la tabla 7:

A	TECNOLOGÍA	COSTO
	Contenedor de aguas lluvias	\$1,250,000.00
	Grifos autónomos	\$1,433,600.00

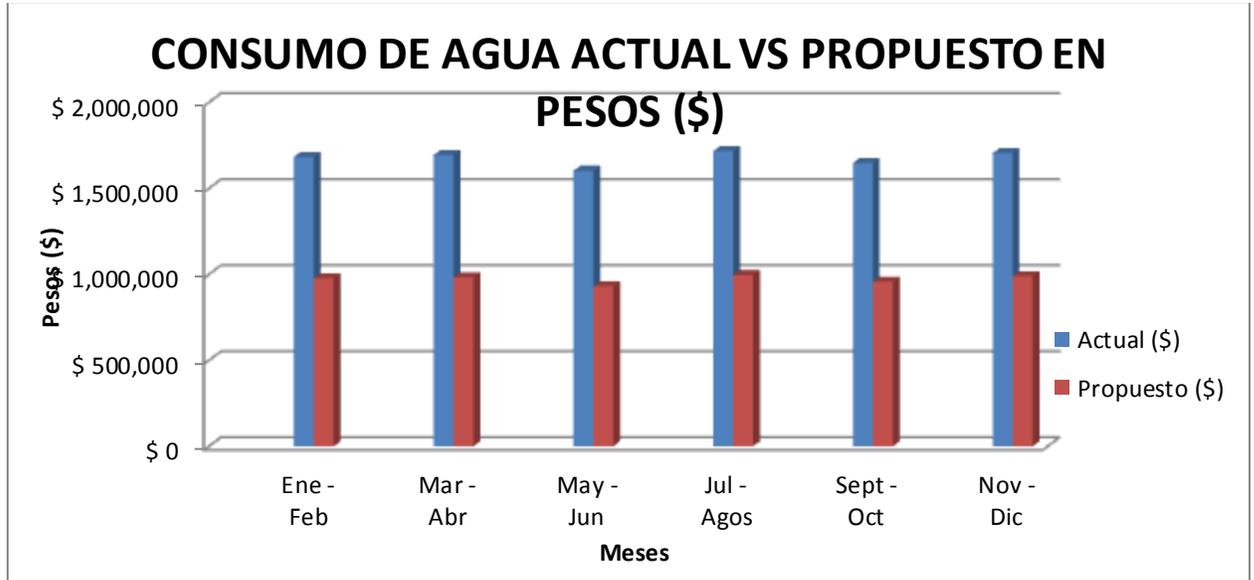
Tabla 7: Tecnologías que permiten generar un ahorro de agua para la categoría básica. Elaboración propia.



Gráfica 7: Porcentaje de ahorro en agua por tecnología – básica. Elaboración propia.

En la gráfica 7 se presentan los ahorros generados en el servicio del agua al año son del 40% aproximadamente representado en \$ \$4.218.95 pesos al año. Esto hace que el valor total a pagar al año sea de \$5.826.161. Los beneficios por tecnología que permiten generar un ahorro de agua se pueden visualizar en la tabla 2 del anexo N.

En la gráfica 8 se presenta la proporción de ahorro bimensual entre los consumos de agua actuales y los propuestos.



Gráfica 8: Consumo de agua actual VS propuesto en pesos (\$). Elaboración propia.

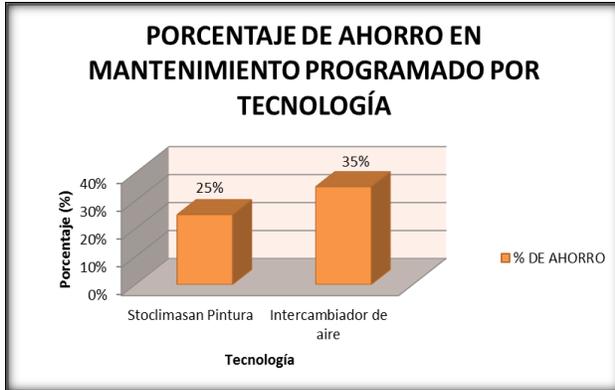
Conociendo que el recibo del servicio público de agua llega bimensual, el gráfico 8 muestra que si se implementan las tecnologías generadas por el modelo de optimización para la categoría básica, (contenedor de aguas lluvias y grifos autónomos) el ahorro que se conseguiría en un año es de \$ 4. 218. 945, ya que dejaría de pagar \$10.045.106 al año y comenzaría a pagar \$5.826.161 anuales. (Ver anexo N, tabla 2)

- **Beneficios Por Conceptos De Mantenimiento – Categoría Básica**

Las tecnologías arrojadas por el modelo de optimización que permitirán un ahorro en los mantenimientos se presentan en la tabla 8:

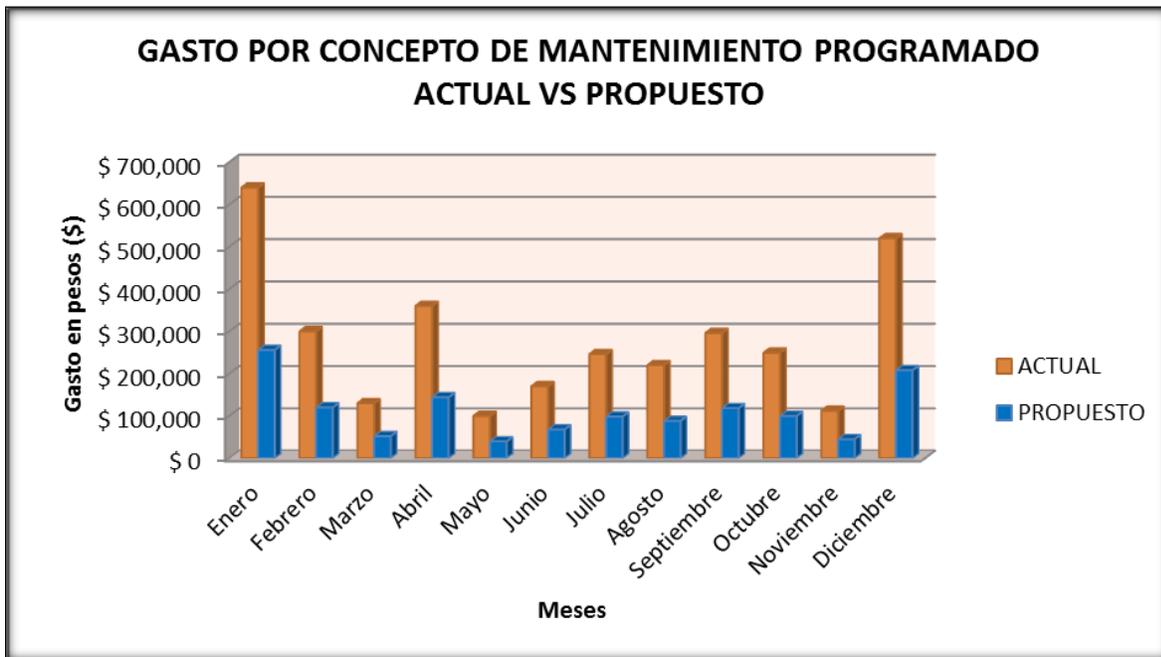
M	TECNOLOGÍA	COSTO
	Intercambiador de aire	\$1,273,300
	Pintura Stoclimasan	\$2,693,600
	Sensor de presión de agua	\$100,000

Tabla 8: Tecnologías que permiten un ahorro en los gastos de mantenimiento para la certificación básica. Elaboración propia



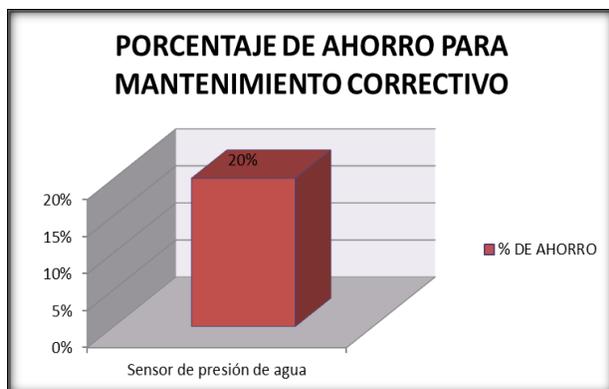
En la gráfica 9 los ahorros generados en los gastos de mantenimiento programado al año son del 60%, representado en \$ 2.000.000 al año. La tecnología que mayor porcentaje de ahorro ocupa es el intercambiador de aire. Los beneficios por tecnología que permiten generar un ahorro en los gastos de mantenimiento mensual se pueden visualizar en la tabla 3 del anexo N.

**Gráfica 9: Porcentaje de ahorro en mantenimiento programado por tecnología. Elaboración propia.**



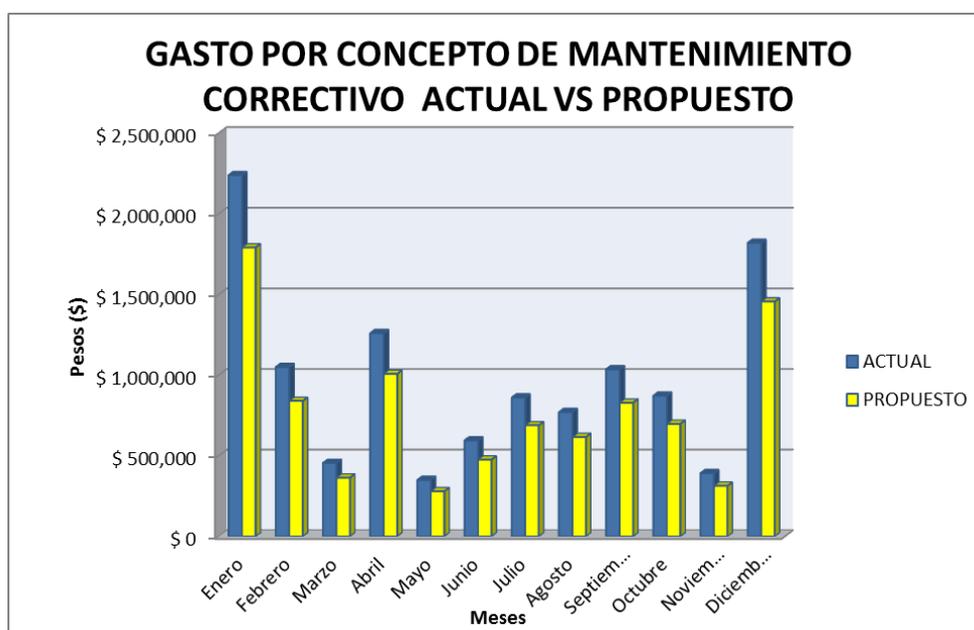
**Gráfica 10: Gasto por concepto de mantenimiento programado, actual vs propuesto. Elaboración propia.**

Conociendo los gastos actuales en mantenimiento, la gráfica 10 muestra que si se implementan las tecnologías generadas por el modelo de optimización para la categoría básica, (Pintura Stoclimasan, intercambiador de aire) el ahorro que se conseguiría en un año es de \$ 2.000.000 aproximadamente, ya que dejaría de pagar \$3.343.200 al año y comenzaría a pagar \$1.337.280 de pesos anuales. Esto se debe a que estas tecnologías retrasan el deterioro del interior comercial.



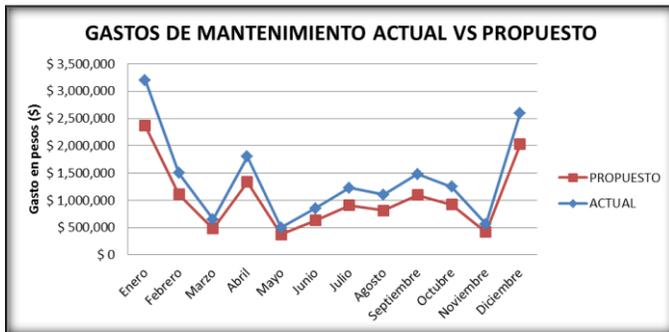
El modelo de optimización arrojó una única tecnología para la sección de mantenimiento correctivo. En la gráfica 11 se observa que el sensor de presión de agua permitirá ahorrar un 20%. Esta tecnología consiste en detectar fugas de agua en el interior comercial. Este porcentaje equivale a un ahorro de \$ 2.340.000 aproximadamente.

**Gráfica 11: Gasto por concepto de mantenimiento correctivo anual vs propuesto. Elaboración propia.**



**Gráfica 12: Gasto por concepto de mantenimiento correctivo actual vs propuesto. Elaboración propia.**

La gráfica 12 muestra la proporción de ahorro que se genera en el restaurante debido a los gastos de mantenimiento correctivo si se implementa la tecnología arrojada por el modelo de optimización (Sensor de frecuencia de agua). El gasto actual en promedio es de \$975.000 pesos, pero si se implementa esta tecnología el empresario podrá ahorrar un 20% lo que equivale a pagar \$ 780.000 mensual en promedio.

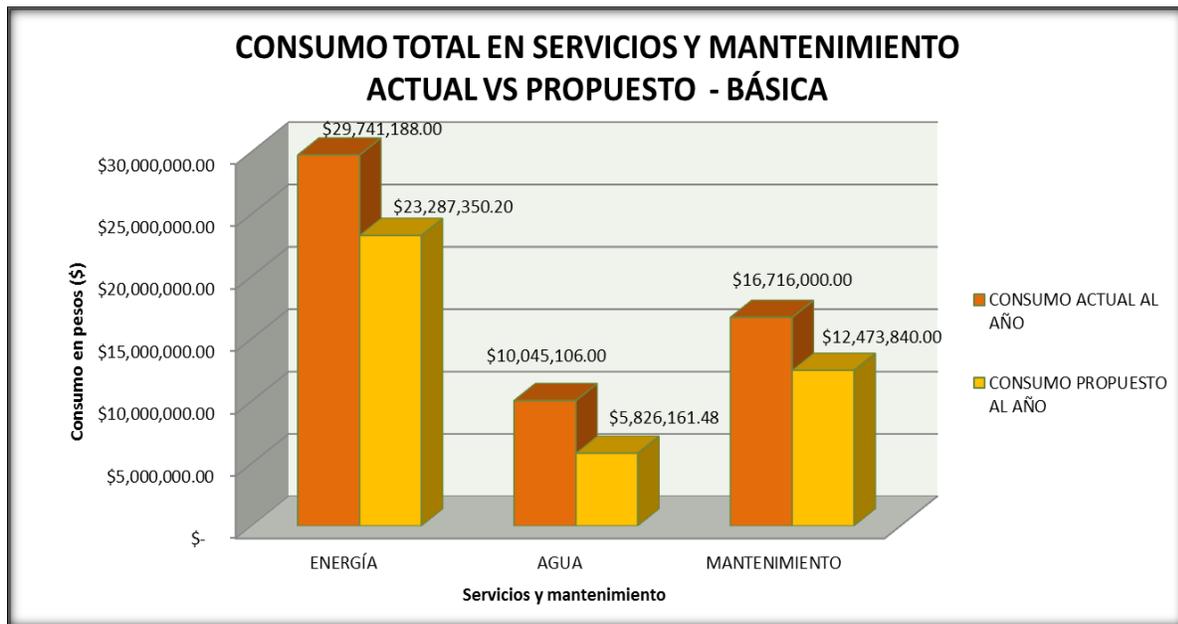


En la gráfica 13 se muestra el total de gastos de mantenimiento actual comparado con el propuesto. Actualmente el restaurante está gastando \$16.716.000 aproximadamente al año en gastos de mantenimiento totales. Si se implementan dichas tecnologías, el propietario podrá ahorrar el 25%, lo que equivale a un ahorro al año de \$4.200.000.

Gráfica 13: Gastos de mantenimiento actual vs propuesto para la categoría básica. Elaboración propia.

- **Beneficios Totales Para La Categoría Básica**

De acuerdo con los ahorros mostrados anteriormente por los conceptos de consumo de agua energía y mantenimientos, a continuación en la gráfica 14 se muestran los ahorros totales generados para la categoría básica.



Gráfica 14: Consumo total en servicios y mantenimiento. Actual vs propuesto para la categoría básica. Elaboración propia.

En la gráfica 14 se muestra la consolidación de los ahorros que se podrían obtener a partir de la implementación de las tecnologías para los servicios de energía, agua y mantenimiento. Actualmente el restaurante está gastando \$56.502.294 en estos servicios, pero si el propietario decidiera implementar las tecnologías para alcanzar la categoría básica, podrá obtener un porcentaje de ahorro total del 25%, lo que corresponde a obtener un beneficio total de

\$14.914.942 de pesos al año. Esto significa que pagaría al año \$41.587.351 en los servicios mencionados.

En resumen, se conoce según los datos arrojados por el modelo de optimización, que la inversión inicial para lograr el restaurante sostenible para la categoría básica es de \$16,617,500 Cop, los beneficios que se obtendrían serían de \$14.914.942 de pesos al año. De acuerdo con lo anterior, el propietario podrá pagar su inversión inicial con los beneficios obtenidos logrando en el mes 14 un flujo positivo.

## 7.2.2 Beneficios Para La Categoría Plata

En esta sección se avalúan los beneficios de tener un interior sostenible por cada una de las tecnologías necesarias para obtener una certificación plata.

Se escogieron las tecnologías arrojadas por el modelo para la categoría plata en su puntaje mínimo (50). Para conocer los beneficios de tener esta categoría, se dividirán las tecnologías de acuerdo al impacto así: energía, agua y mantenimiento. Por lo tanto se conocerán los ahorros que se obtendrán en cada uno de dichos impactos y así se obtendrá el ahorro general.

Las tecnologías arrojadas por el modelo diseñado, para obtener una certificación plata con 50 puntos se presentan en la tabla 9 con sus respectivos costos de implementación.

Costos De Implementación por tecnología para la categoría plata			
ANALISIS CUANTITATIVO	E	Sensor de Luz	\$108,000
		Led bombillo	\$2,600,000
		Sistema de aprovechamiento de la luz natural	\$650,000
		Extractor eólico	\$2,709,000
		Foco Led	\$300,000
	A	Contenedor de aguas lluvias	\$1,250,000
		Grifos autónomos	\$1,433,600
	M	Sensor de alta frecuencia	\$153,504
		Eliminador de vapores	\$640,000
		Intercambiador de aire	\$1,273,300
Stoclimasan Pintura		\$2,693,600	
ANALISIS CUALITATIVO	Parqueadero de bicicletas		\$320,000
	Gestión de residuos de la construcción		\$3,500,000
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$17,631,004</b>

Tabla 9: Tecnologías arrojadas por el modelo de optimización para la categoría plata. Elaboración propia.

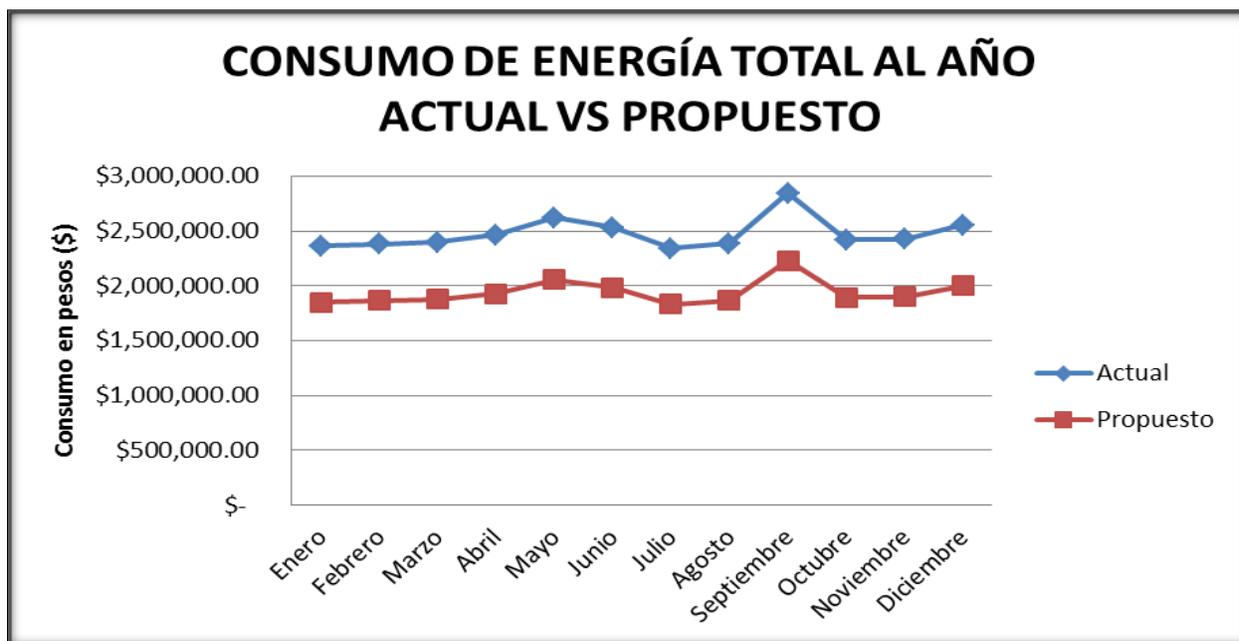
Las letras A, E, M, expresadas en la tabla 9 simbolizan que el ahorro se verá reflejado en los consumos de agua, energía y mantenimiento respectivamente.

En la tabla 9 se muestra que el costo adicional de tener un interior sostenible para la categoría plata es \$ 17, 631,004. Este costo adicional es arrojado por el modelo de optimización obteniendo un puntaje de 50. Las tecnologías se subdividieron en dos categorías, la primera es la categoría de análisis cuantitativo y la segunda la de análisis cualitativo. Las tecnologías que se encuentran en la segunda categoría son por qué no generan ahorros en agua, energía o mantenimiento, pero contribuyen a generar los beneficios cualitativos enunciados al inicio del capítulo.

Como se observa en la tabla 9 de tecnologías arrojadas por el modelo de optimización, existen tecnologías que ya se explicaron su ahorro en la categoría básica, por lo tanto se describirán las tecnologías adicionales que arrojó el modelo de optimización para la categoría plata sus ahorros independientes y el global para esta categoría.

- **Beneficios Por Concepto Del Servicio De Energía – Categoría Plata**

Los beneficios obtenidos por las tecnologías arrojadas por el modelo de optimización para la categoría plata que permitirán ahorrar un consumo de energía se presentan en la tabla 9. Estas tecnologías son las mismas para alcanzar una certificación básica. El sistema arrojó las mismas tecnologías por que el porcentaje de ahorro para la energía requerido lo está cumpliendo, así mismo el local que se está tomando como caso de estudio es de 246 m<sup>2</sup>, esta área es pequeña comparada con los proyectos desarrollados LEED.

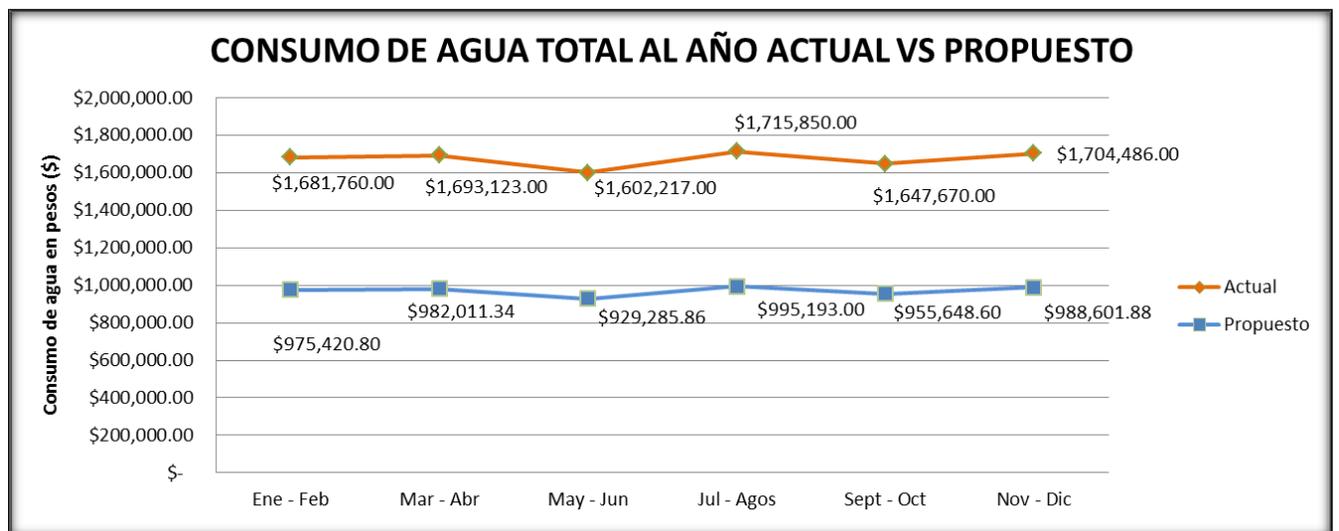


Gráfica 15: Consumo de energía total al año para la categoría Plata. Elaboración propia.

Así entonces el ahorro generado por el servicio público de energía al año es del 22% lo que significa un ahorro de \$ 6.453.838. Como se muestra en la gráfica 15 el propietario pasará de pagar \$29.700.000a pagar \$23.300.000 por este concepto. (Ver anexo O, tabla 2)

- **Beneficios Por Concepto Del Servicio De Agua - Categoría Plata**

Los beneficios obtenidos por las tecnologías arrojadas por el modelo de optimización para la categoría plata que permitirán ahorrar un consumo de agua se presentan en la tabla 9. Estas tecnologías son las mismas para alcanzar una certificación básica. El sistema arroja las mismas tecnologías por que el porcentaje de ahorro mínimo para el agua requerido lo está cumpliendo, así mismo el local que se está tomando como caso de estudio es de 246 m2, esta área es pequeña comparada con los proyectos desarrollados LEED. Por esto la diferencia entre la categoría básica y la plata en mínima.

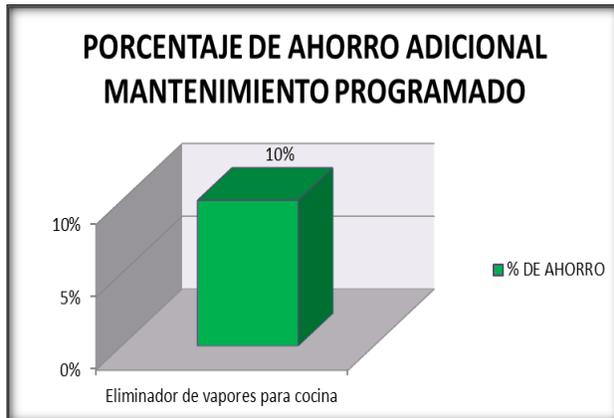


Gráfica 16: Consumo de agua al año para la categoría plata. Elaboración propia.

Conociendo que el recibo del servicio público de agua llega bimensual, la gráfica 16 muestra que si se implementan las tecnologías generadas por el modelo de optimización para la categoría plata, (contenedor de aguas lluvias y grifos autónomos) el ahorro que se conseguiría en un año será de \$ 4. 218. 945 pesos, ya que dejaría de pagar \$10.045.106 al año y comenzaría a pagar \$5.826.161 anuales.

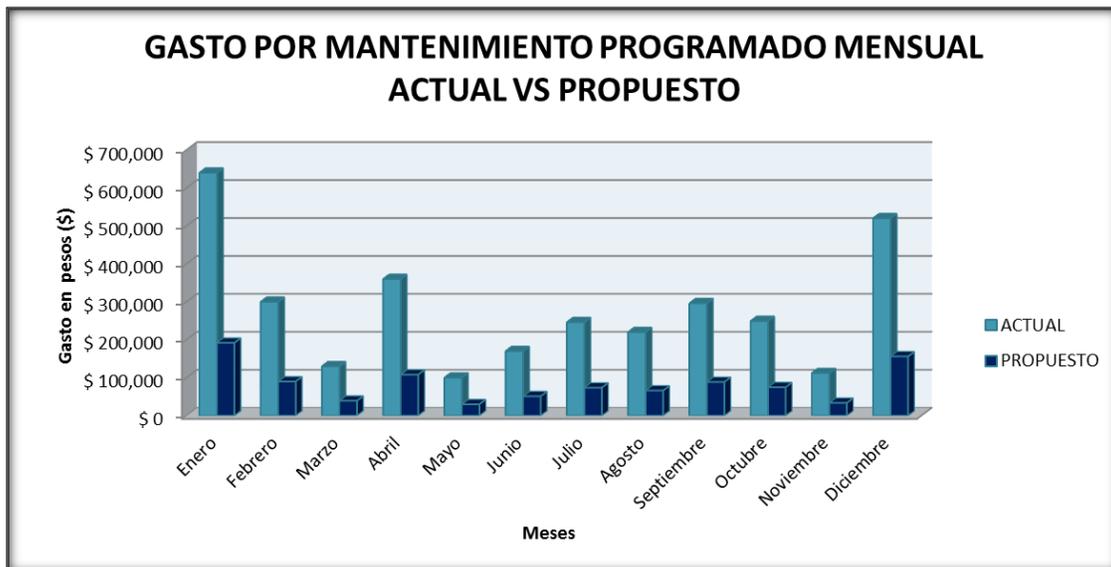
- **Beneficios Por Conceptos De Mantenimiento – Categoría Plata**

Las tecnologías arrojadas por el modelo de optimización que permitirán un ahorro en los mantenimientos son Intercambiador de aire, stoclimasan pintura, sensores de presión de agua y eliminador de vapores para cocina. De acuerdo con esto en sección 7.1.1 se describen los beneficios de las tres primeras por lo tanto a continuación se conocerá el beneficio de tener el eliminador de vapores.



El modelo de optimización arrojó una tecnología adicional para la categoría plata. El eliminador de vapores para cocina, éste permitirá ahorrar un 10% del mantenimiento programado dada la gráfica 18, ya que contribuirá en el aplazamiento de los periodos de mantenimiento. Esto equivale a un ahorro de \$334.000 pesos.

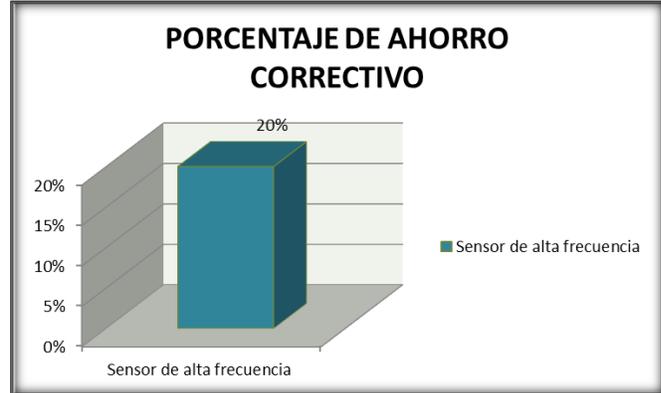
Gráfica 18: Porcentaje de ahorro adicional mantenimiento programado.



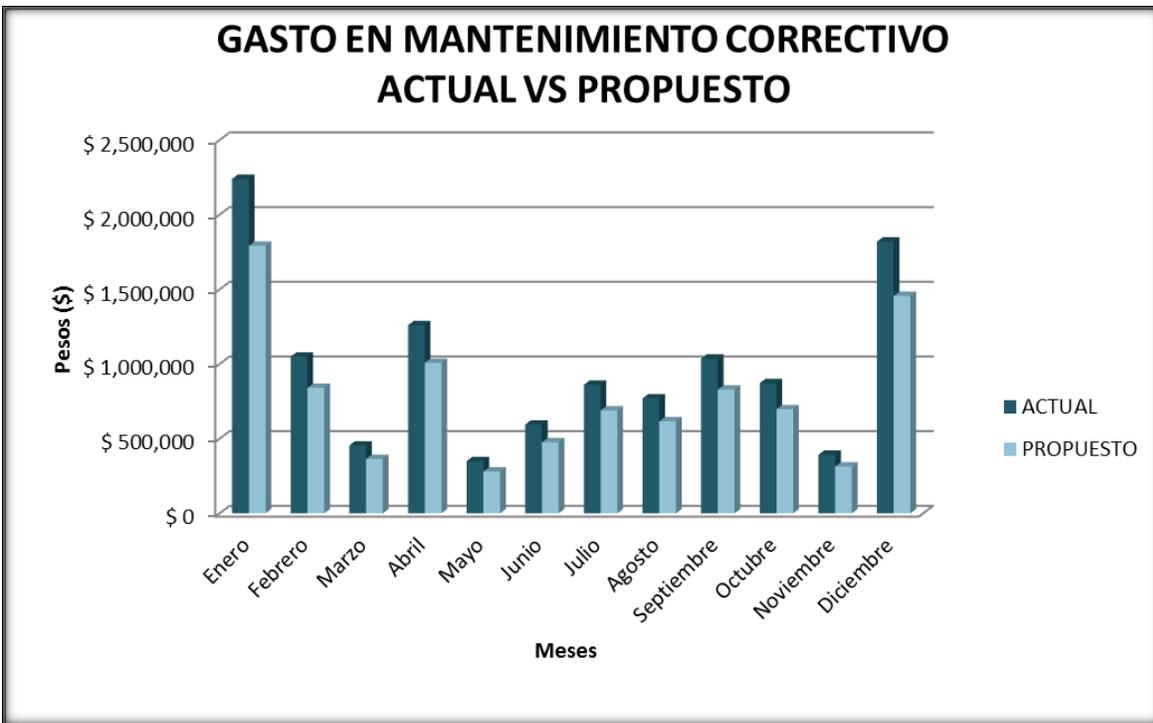
Gráfica 17: Gasto por mantenimiento programado mensual actual vs propuesto.

Conociendo los gastos actuales en mantenimiento, la gráfica 17 muestra que si se implementan las tecnologías generadas por el modelo de optimización para la categoría plata, (pintura pintura, intercambiador de aire y eliminador de vapores) el ahorro que se conseguiría en un año será de \$ 2. 340. 000 pesos aproximadamente, ya que dejaría de pagar \$3.343.200 al año y comenzaría a pagar \$1.002.000 anuales. Debido a que estas tecnologías retrasan el deterioro del interior comercial. Esto también se obtiene si se adapta la cultura de realizar mantenimientos programados periódicamente.

El modelo de optimización arrojó una única tecnología para la categoría plata que permite minimizar los gastos en mantenimientos correctivos. El sensor de presión de alta frecuencia que contribuirá a ahorrar un 20% de los mantenimientos correctivos según la gráfica 19. Esta tecnología consiste en detectar en que parte del interior hay sobre consumo energético. Esto equivale a un ahorro de \$2300.000 aproximadamente.



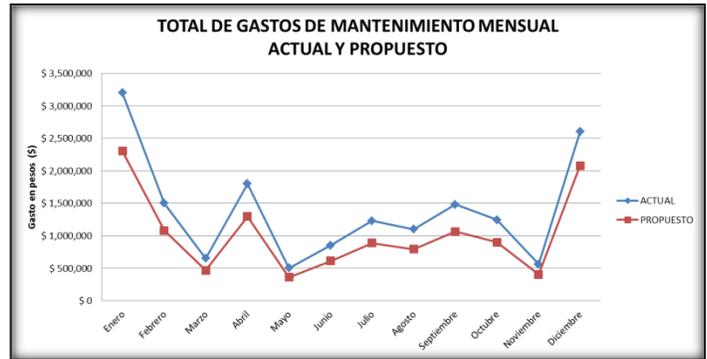
Gráfica 19: Porcentaje de ahorro correctivo.



Gráfica 20: Gasto en mantenimiento correctivo actual vs propuesto.

La gráfica 20 muestra la proporción de ahorro que se genera en el restaurante debido a los gastos de mantenimiento correctivo si se implementa la tecnología arrojada por el modelo de optimización (Sensor de alta frecuencia). El gasto actual en promedio es de \$975.000, pero si se implementa esta tecnología el empresario podrá ahorrar un 20% lo que equivale a un ahorro de \$ 2.340.000 al año.

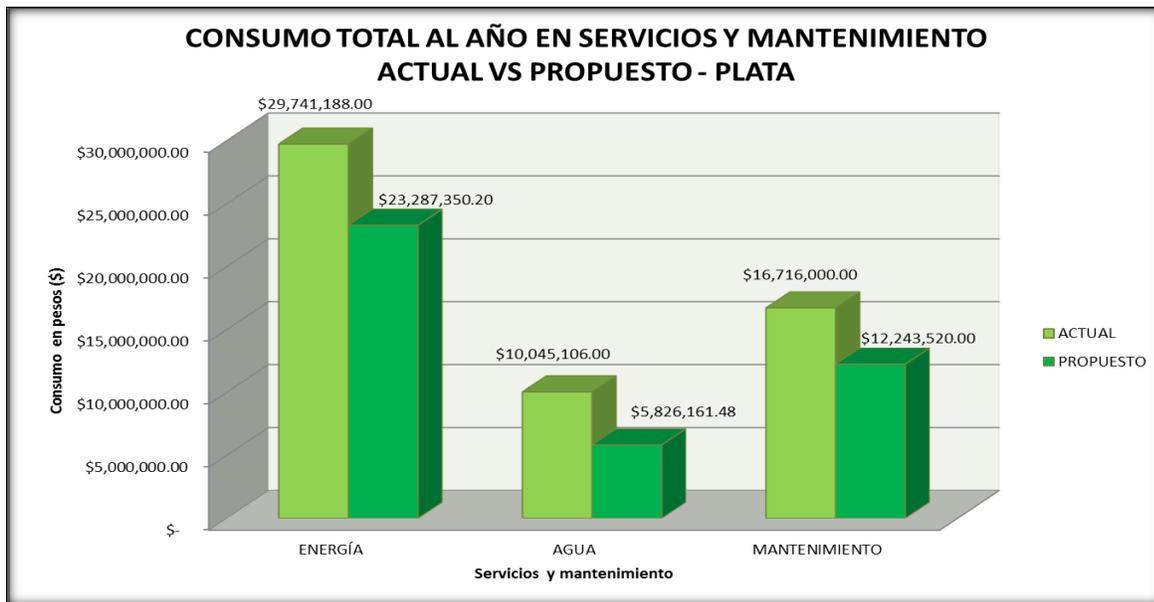
En la gráfica 21 se muestra el total de gastos de mantenimiento actual comparado con el propuesto. Actualmente el restaurante está gastando \$ 16.716.000 aproximadamente al año en gastos de mantenimiento totales, si se implementa la tecnología el propietario podrá ahorrar el 27%, lo que equivale a un ahorro al año de \$4.472.000.



Gráfica 21: Total gastos de mantenimiento mensual actual y propuesto.

- **Beneficios Totales Para La Categoría Plata**

De acuerdo con los ahorros mostrados anteriormente por los conceptos de consumo de agua energía y mantenimientos, a continuación en la gráfica 22 se muestran los ahorros totales generados para la categoría plata.



Gráfica 22: Consumo total al año en servicios y mantenimiento actual vs propuesto-plata.

En la gráfica 22 se muestra la consolidación de los ahorros que se podrían obtener a partir de la implementación de las tecnologías para los servicios de energía, agua y mantenimiento. Actualmente el restaurante está gastando \$56.502.294 Copen estos servicios, pero si el propietario decidiera implementar las tecnologías para alcanzar la categoría plata, podrá obtener un porcentaje de ahorro total del 25%, lo que corresponde a obtener un beneficio total de \$15.145.262. Esto significa que pagaría al año \$41.357.87.031 en los servicios mencionados. (Ver anexo O).

En resumen, se conoce según los datos arrojados por el modelo de optimización, que la inversión inicial para lograr el restaurante sostenible para la categoría plata es de \$17,631,004 Cop, los beneficios que se obtendrían serían de \$15.145.262 de pesos al año. De acuerdo con lo anterior, el propietario podrá pagar su inversión inicial con los beneficios obtenidos logrando en el mes 14 un flujo positivo.

### 7.2.3 Beneficios Para La Categoría Oro

En esta sección se avalúan los beneficios de tener un interior sostenible por cada una de las tecnologías necesarias para obtener una certificación oro.

Se escogieron las tecnologías arrojadas por el modelo para la categoría oro en su puntaje mínimo (60). Para conocer los beneficios de tener esta categoría, se dividirán las tecnologías de acuerdo al impacto así: energía, agua y mantenimiento. Por lo tanto se conocerán los ahorros que se obtendrán en cada uno de dichos impactos y así se obtendrá el ahorro general. Las tecnologías arrojadas por el modelo diseñado, para obtener una certificación oro con 60 puntos se presentan en la tabla 10 con sus respectivos costos de implementación.

Costos De Implementación Por Tecnología Para La Categoría Oro			
ANALISIS CUANTITATIVO	E	Sensor de Luz	\$108,000
	E	Led bombillo	\$2,600,000
	E	Sistema de aprovechamiento de la luz natural	\$650,000
	E	Extractor eólico	\$2,709,000
	E	Foco Led	\$300,000
	E	Cristal Sunguarglass	\$737,760
	A	Grifos autónomos	\$1,433,600
	A	Contenedor de aguas lluvias	\$1,250,000
	A	Ecotrap	\$732,900
	M	Sensor de alta frecuencia	\$153,504
	M	Eliminador de vapores	\$640,000
	M	Stoclimasan	\$2,693,600
	M	Sensor de presión de agua	\$100,000
	M	Intercambiador de aire	\$1,273,300
ANALISIS CUALITATIVO	Gestión de residuos de la construcción		\$3,500,000
	Acceso a transporte público		\$ -
	Parqueadero de bicicletas		\$320,000
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$19,201,664</b>

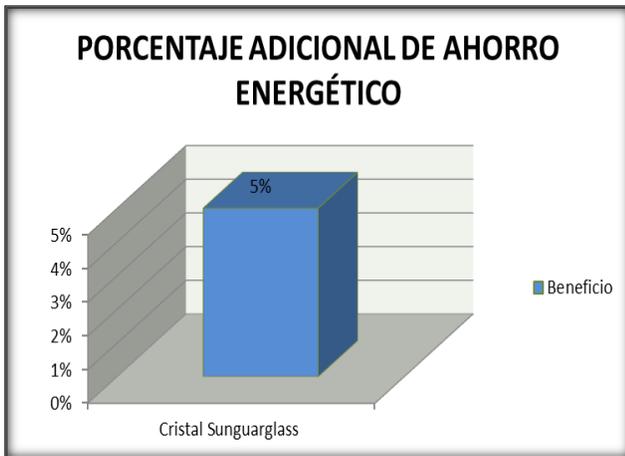
Tabla 10: Costos de implementación por tecnología para la categoría Oro. Arrojadas por el modelo de optimización.

Las letras A, E, M, expresadas en la tabla 10 simbolizan que el ahorro se verá reflejado en los consumos de agua, energía y mantenimiento respectivamente.

En la tabla 10 se muestra que el costo adicional de tener un interior sostenible para la categoría oro es \$ 19, 631,004. Este costo adicional es arrojado por el modelo de optimización obteniendo un puntaje de 50. Las tecnologías se subdividieron en dos categorías, la primera es la categoría de análisis cuantitativo y la segunda la de análisis cualitativo. Las tecnologías que se encuentran en la segunda categoría son por qué no generan ahorros en agua, energía o mantenimiento, pero contribuyen a generar los beneficios cualitativos enunciados al inicio del capítulo.

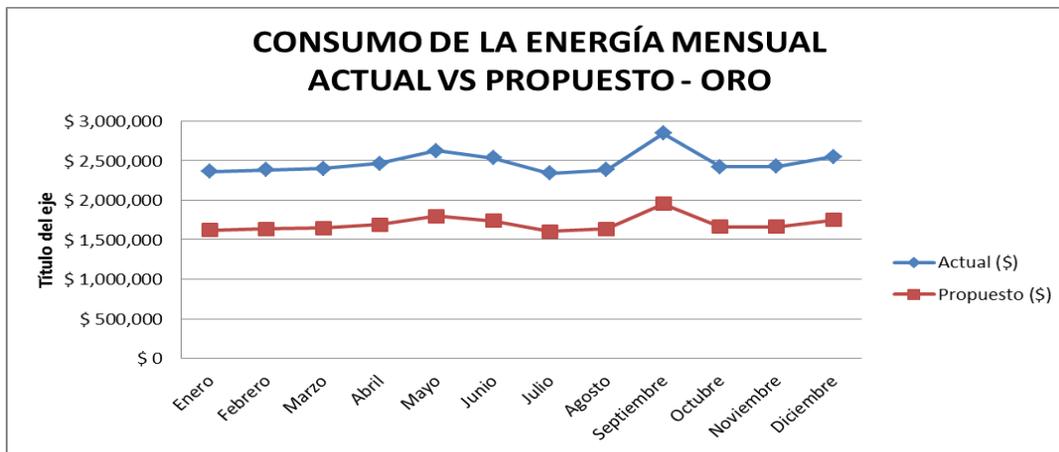
- **Beneficios Por Concepto Del Servicio De Energía – Categoría Oro**

Como se observa en la tabla 10 de tecnologías arrojadas por el modelo de optimización, existen tecnologías que ya se explicaron sus ahorros para la categoría básica y plata, por lo tanto se describirán las tecnologías adicionales que arrojó el modelo de optimización para la categoría oro, sus ahorros independientes y el global para esta categoría.



Gráfica 23: Porcentaje adicional de ahorro energético.

El modelo de optimización arrojó una tecnología adicional que genera ahorros para el servicio de energía para la categoría oro. El cristal Sunguardglass, le permitirá ahorrar un 5% de la energía en la sección de iluminación dada la gráfica 23, ya permite una alta transmisión de luz y así contribuirá a incrementar el desempeño energético. Esto equivale a un ahorro de \$476.000 pesos.

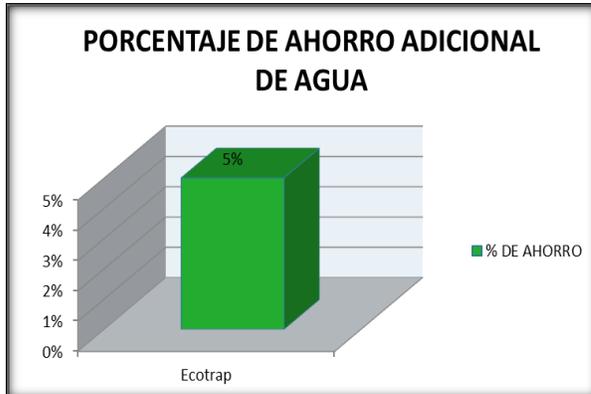


Gráfica 24: Consumo de la energía mensual vs propuesto - Oro

En la gráfica 24 se muestra el ahorro generado por el servicio público de energía al año para la categoría Oro es del 31.4% lo que significa un ahorro de \$ 9.338.733 de pesos. Entonces el propietario pasará de pagar \$29.700.000 a pagar \$20.402.000 al año por este concepto. (Ver anexo P, tabla 1)

- **Beneficios Por Concepto Del Servicio De Agua - Categoría Oro**

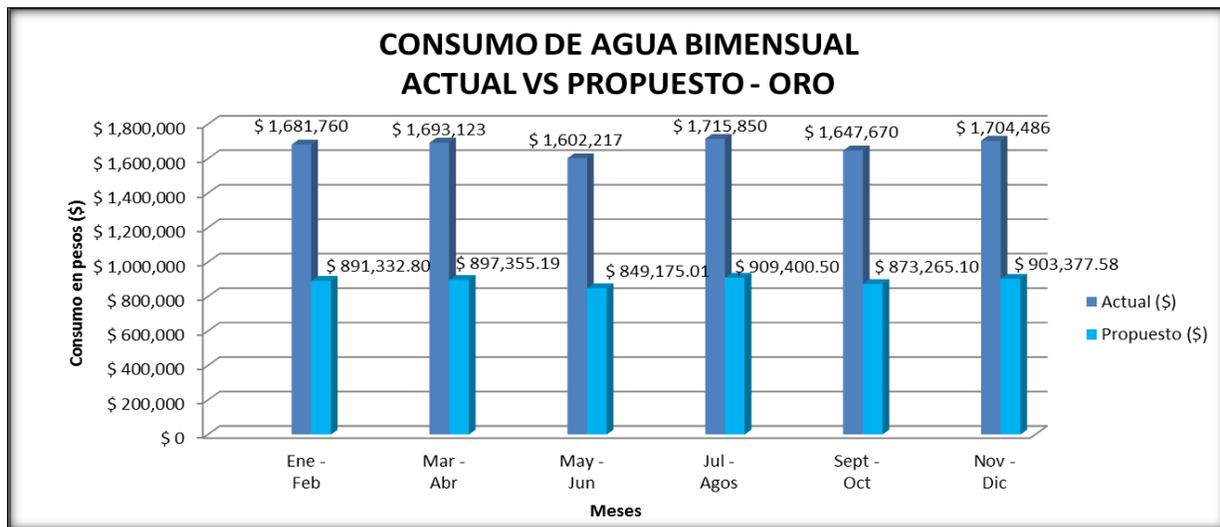
Los beneficios obtenidos por las tecnologías arrojadas por el modelo de optimización para la categoría oro que permitirán ahorrar un consumo de agua se presentan en la tabla 11. En esta tabla se presenta una tecnología adicional que es el ecotrap. Como en las secciones anteriores se ha mostrado el porcentaje de ahorro de los grifos autónomos y el contenedor de aguas lluvias, a continuación se presenta el beneficio para la tecnología ecotrap.



El modelo de optimización arrojó una tecnología adicional que genera ahorros en el servicio del agua para la categoría oro. El ecotrap, le permitirá ahorrar un 5% del agua, ya que consiste en un sistema de trampa probada que no requiere de agua frecuente, ver gráfica 25.

Este porcentaje equivale a un ahorro de \$500.000 pesos aproximadamente.

Gráfica 25: Porcentaje de ahorro adicional de agua.



Gráfica 26: Consumo de agua bimensual actual vs propuesto-Oro.

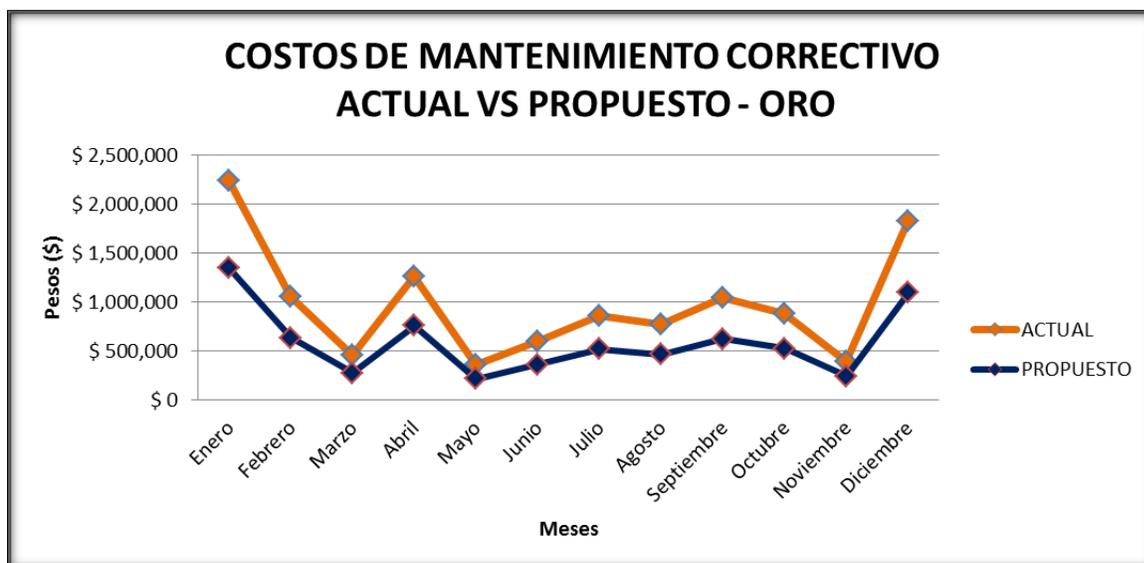
Conociendo que el recibo del servicio público de agua llega bimensual, la gráfica 26 muestra que si se implementan las tecnologías generadas por el modelo de optimización para la categoría oro, (contenedor de aguas lluvias, grifos autónomos y ecotrap) el ahorro que se conseguirá en un año será de \$ 4. 721. 200 pesos, ya que dejaría de pagar \$10.045.106 al año y comenzaría a pagar \$5.323.906 de pesos anuales, esto corresponde a un ahorro del 47% del total de la factura. (Ver anexo O, tabla 2)

- **Beneficios Por Conceptos De Mantenimiento – Categoría Oro**

Las tecnologías arrojadas por el modelo de optimización que permitirán un ahorro en el mantenimiento programado son las mismas para la categoría plata. Estas tecnologías son Intercambiado de aire, stoclimasan pintura, y eliminador de vapores para cocina. De acuerdo con esto en la sección 7.1.2 se describen los beneficios de estas tres tecnologías.

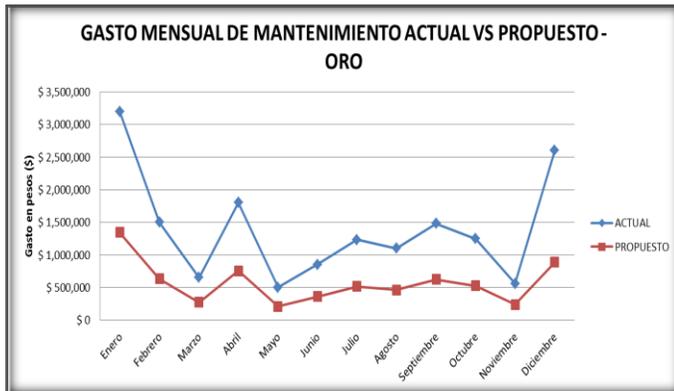
Conociendo los gastos actuales en mantenimiento, la grafica 27 muestra que si se implementan las tecnologías generadas por el modelo de optimización para la categoría oro, (Stoclimasan pintura, intercambiador de aire y eliminador de vapores) el ahorro que se conseguiría en un año será de \$ 2. 340. 000 pesos aproximadamente, ya que dejaría de pagar \$3.343.200 al año y comenzaría a pagar \$1.002.000 de pesos anuales. Esto se debe a que estas tecnologías retrasan el deterioro del interior comercial. Esto también se obtiene si se adapta la cultura de realizar mantenimientos programados periódicamente.

Para el mantenimiento correctivo el modelo arrojó dos tecnologías que son los sensores de frecuencia y agua, el porcentaje de ahorro de estos es del 40%.



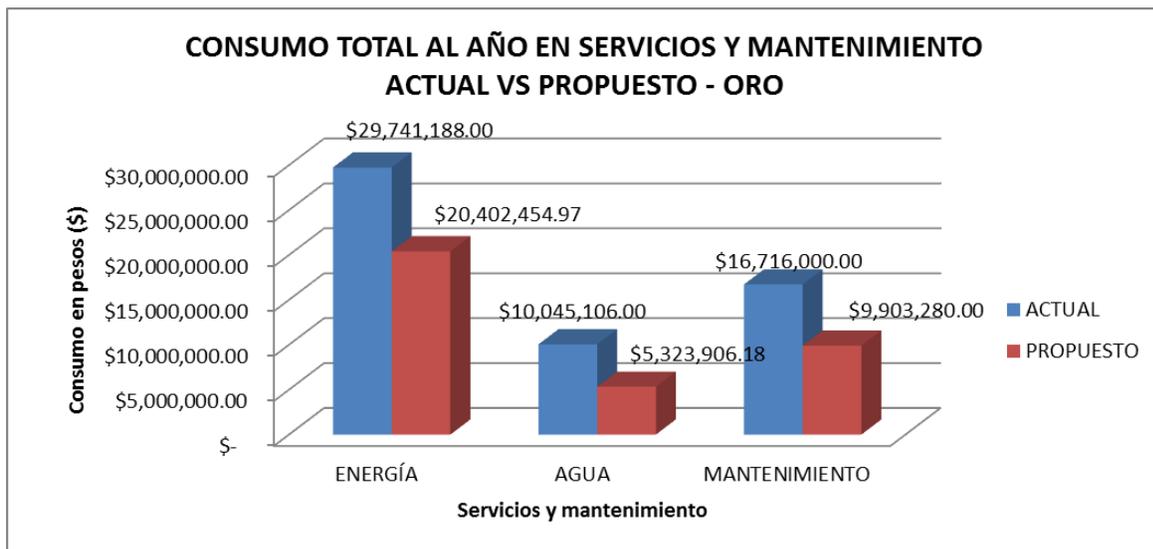
Gráfica 27: Costos de mantenimiento correctivo actual vs propuesto-Oro.

En la gráfica 27 se muestran los ahorros mensuales por concepto de mantenimiento correctivo. Si el propietario decide obtener la categoría oro podrá tener un beneficio al año de \$ 4.680.000 en este concepto, por que dejaría de pagar \$ 11.701.000 al año y pasaría a pagar \$7.020.000 aproximadamente.



En la gráfica 28 se muestra el total de gastos de mantenimiento actual por meses, comparado con el propuesto. Actualmente el restaurante está gastando \$ 16.716.000 de pesos aproximadamente al año en gastos de mantenimiento totales, si el propietario decide obtener la categoría oro, podrá ahorrar el 59.2%, lo que equivale a un ahorro al año de \$6.812.000 de pesos aproximadamente.

Gráfica 28: Gasto mensual de mantenimiento actual vs propuesto Oro.



Gráfica 29: Consumo total al año en servicios y mantenimiento actual vs propuesto.

En la gráfica 29 se muestra la consolidación de los ahorros que se podrían obtener a partir de la implementación de las tecnologías para los servicios de energía, agua y mantenimiento. Actualmente el restaurante está gastando \$56.502.294 en estos servicios, pero si el propietario decidiera implementar las tecnologías para alcanzar la categoría oro, podrá obtener un porcentaje de ahorro total del 37%, lo que corresponde a obtener un beneficio total de \$20.800.00 de pesos al año aproximadamente. Esto significa que pagaría al año \$35.600.00 de pesos en los servicios mencionados. (Ver anexo P).

En resumen, se conoce según los datos arrojados por el modelo de optimización, que la inversión inicial para lograr el restaurante sostenible para la categoría oro es de \$19,201,664 Cop, los beneficios que se obtendrían serían de \$20.800.00 de pesos al año. De acuerdo con lo anterior, el propietario podrá pagar su inversión inicial con los beneficios obtenidos logrando en el mes 12 un flujo positivo.

## 7.2.4 Beneficios Para La Categoría Platino

En esta sección se avalúan los beneficios de tener un interior sostenible por cada una de las tecnologías necesarias para obtener una certificación platino.

Se escogieron las tecnologías arrojadas por el modelo para la categoría platino en su puntaje mínimo (80). Para conocer los beneficios de tener esta categoría, se dividirán las tecnologías de acuerdo al impacto así: energía, agua y mantenimiento. Por lo tanto se conocerán los ahorros que se obtendrán en cada uno de dichos impactos y así se obtendrá el ahorro general.

Las tecnologías arrojadas por el modelo diseñado, para obtener una certificación plata con 80 puntos se presentan en la tabla 11 con sus respectivos costos de implementación.

Costos De Implementación Por Tecnología Para La Categoría Platino			
ANALISIS CUANTITATIVO	E	Sensor de Luz	\$108,000
		Led bombillo	\$2,600,000
		Sistema de aprovechamiento de la luz natural	\$650,000
		Extractor eólico	\$2,709,000
		Foco Led	\$300,000
		Cristal Sunguarglass	\$737,760
		Motores eco-eficientes para campanas extractoras	\$1,500,000
	A	Contenedor de aguas lluvias	\$1,250,000
		Grifos autónomos	\$1,433,600
		Baño ecológico	\$2,370,000
		Válvula de descarga Twin	\$450,000
		Ecotrap	\$732,900
	M	Sensor de alta frecuencia	\$153,504
		Eliminador de vapores	\$640,000
		Tapiz para paredes verde cocina	\$2,160,000
		Sensor de presión de agua	\$100,000
		Intercambiador de aire	\$1,273,300
		Stoclimasan pintura	\$2,693,600
Revestimiento ecológico Coco		\$2,520,000	
Trampa de grasas Ecológica	\$800,000		
ANALISIS CUALITATIVO	Madera certificada	\$1,825,874	
	Gestión de residuos de la construcción	\$3,500,000	
	Acceso a transporte público	\$ -	
	Parqueadero de bicicletas	\$320,000	
	Madera aglomerada a base de estiercol	\$7,036,800	
	Jardines bioclimáticos	\$800,000	
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$38,664,338</b>

Tabla 11: Costos de implementación por tecnología para la categoría platino.

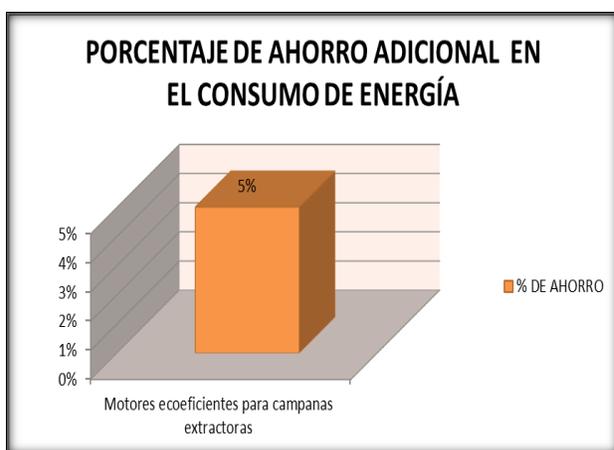
Las letras A, E, M, expresadas en la tabla 11 simbolizan que el ahorro se verá reflejado en los consumos de agua, energía y mantenimiento respectivamente.

En la tabla 11 se muestra que el costo adicional de tener un interior sostenible para la categoría platino es de \$ 38.664.338. Este costo adicional es arrojado por el modelo de optimización

obteniendo un puntaje de 50. Las tecnologías se subdividieron en dos categorías, la primera es la categoría de análisis cuantitativo y la segunda la de análisis cualitativo. Las tecnologías que se encuentran en la segunda categoría son por que no generan ahorros en agua, energía o mantenimiento, pero contribuyen a generar los beneficios cualitativos enunciados al inicio del capítulo

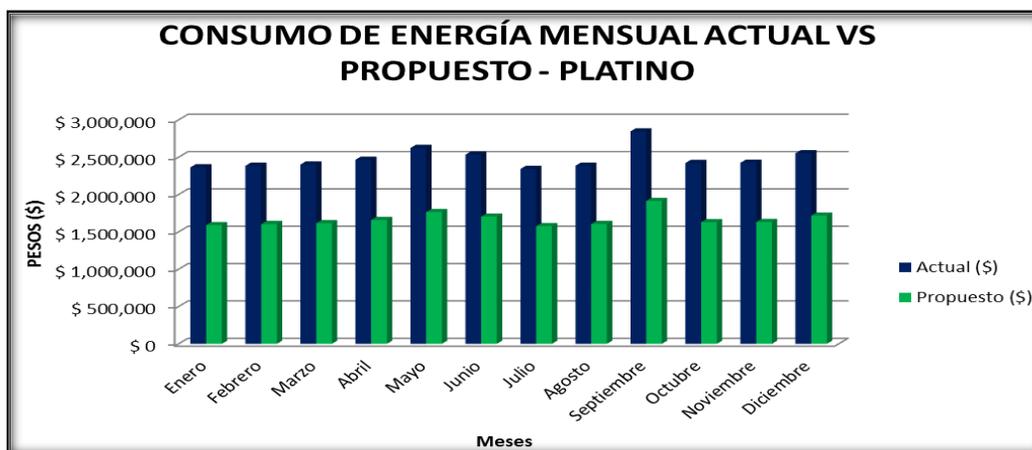
- **Beneficios Por Concepto Del Servicio Público De Energía Eléctrica – Categoría Platino**

Como se observa en la tabla 11 de tecnologías arrojadas por el modelo de optimización, existen tecnologías que ya se explicaron sus ahorros para la categoría básica, plata y oro, por lo tanto se describirán las tecnologías adicionales que arrojó el modelo de optimización para la categoría platino, sus ahorros independientes y el global para esta categoría.



El modelo de optimización arrojó una tecnología adicional que genera ahorros en el servicio de la energía eléctrica para la categoría platino. Los motores eco-eficientes para campanas extractoras le permitirá ahorrar un 5% de la energía en la sección de otros equipos ya que son motores verdes que contribuyen a reducir el consumo energético. Este porcentaje equivale a \$ 401.500 pesos, según la gráfica 30.

Gráfica 30: Porcentaje de ahorro adicional en el consumo de energía.



Gráfica 31: Consumo de energía mensual actual vs propuesto-Platino.

En la gráfica 31 se observa el ahorro generado por el servicio público de energía al año para la categoría platino que es del 33% lo que significa un ahorro de \$ 9.740.239 de pesos. Entonces el propietario pasará de pagar \$29.700.000 a pagar \$20.000.000 de pesos al año aproximadamente por este concepto. (Ver anexo Q, tabla 1)

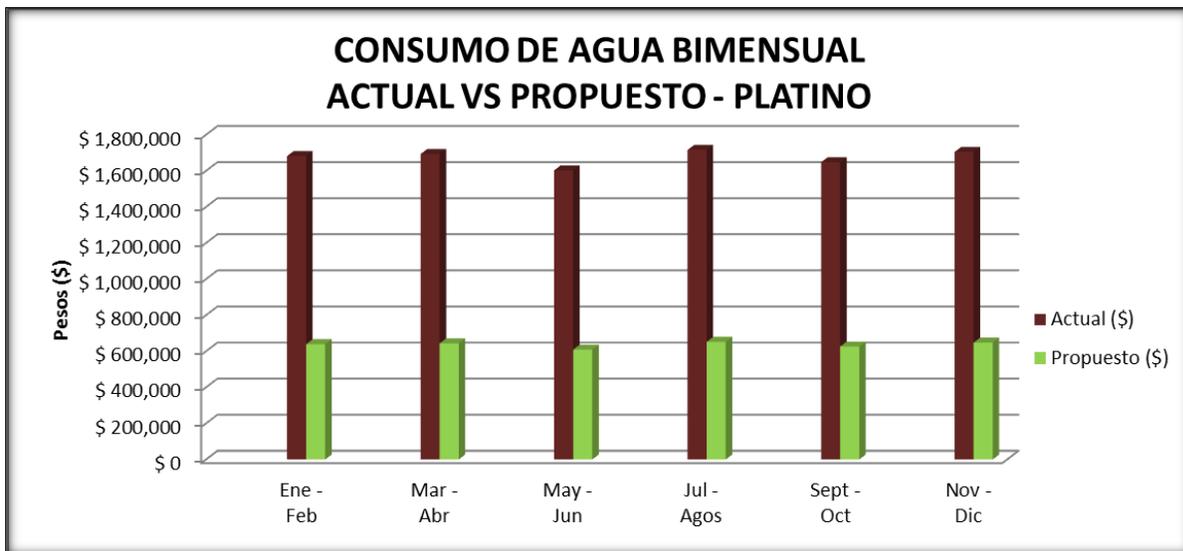
- **Beneficios Por Concepto Del Servicio De Agua - Categoría Platino**

Los beneficios obtenidos por las tecnologías arrojadas por el modelo de optimización para la categoría platino que permitirán ahorrar un consumo de agua se presentan en la tabla 11. En esta tabla se presentan dos tecnologías adicionales que son el baño ecológico y la válvula de descarga twin. Como en las secciones anteriores se ha mostrado el porcentaje de ahorro de los grifos autónomos y el contenedor de aguas lluvias, a continuación se presenta el beneficio para la tecnología el baño ecológico y la válvula de descarga twin.



Gráfica 32: Porcentaje adicional de ahorro en el consumo de agua, Platino.

El modelo de optimización arrojó una tecnología adicional que generan ahorros en el servicio del agua para la categoría platino. Estas tecnologías es la válvula de descarga twin, la cual le permitirá ahorrar un 5% del agua, este porcentaje equivale a un ahorro de \$ 502.000 pesos.



Gráfica 33: Consumo de agua bimensual actual vs propuesto-Platino.

Conociendo que el recibo del servicio público de agua llega bimensual, la gráfica 33 muestra que si se implementan las tecnologías generadas por el modelo de optimización para la categoría platino, el ahorro que se conseguirá en un año será de \$ 6.227.000 pesos, ya que dejaría de pagar \$10.045.106 al año y comenzaría a pagar \$3.800.000 de pesos anuales, esto corresponde a un ahorro del 62% del total de la factura. (Ver anexo Q, tabla 2).

- **Beneficios Por Conceptos De Mantenimiento – Categoría Platino**

Las tecnologías arrojadas por el modelo de optimización que permitirán un ahorro en el mantenimiento programado son las mismas para la categoría plata. Estas tecnologías son Intercambiado de aire, stoclimasan pintura, y eliminador de vapores para cocina. De acuerdo con esto en la sección 7.1.2 se describen los beneficios de estas tres tecnologías.

Conociendo los gastos actuales en mantenimiento, la gráfica 34 muestra que si se implementan las tecnologías generadas por el modelo de optimización para la categoría platino, (Stoclimasan pintura, intercambiador de aire y eliminador de vapores) el ahorro que se conseguiría en un año será de \$ 2. 340. 000 pesos aproximadamente, ya que dejaría de pagar \$3.343.200 al año y comenzaría a pagar \$1.002.000 de pesos anuales. Esto se debe a que estas tecnologías retrasan el deterioro del interior comercial. Esto también se obtiene si se adapta la cultura de realizar mantenimientos programados periódicamente. (Ver anexo Q, tabla 3).

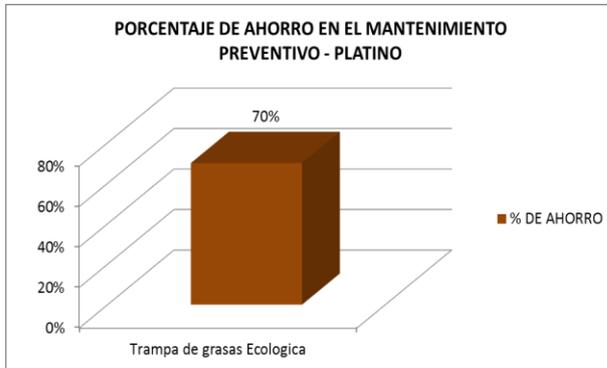
Para el mantenimiento correctivo el modelo arrojó dos tecnologías que son los sensores de frecuencia y agua, el porcentaje de ahorro de estos es del 40%.



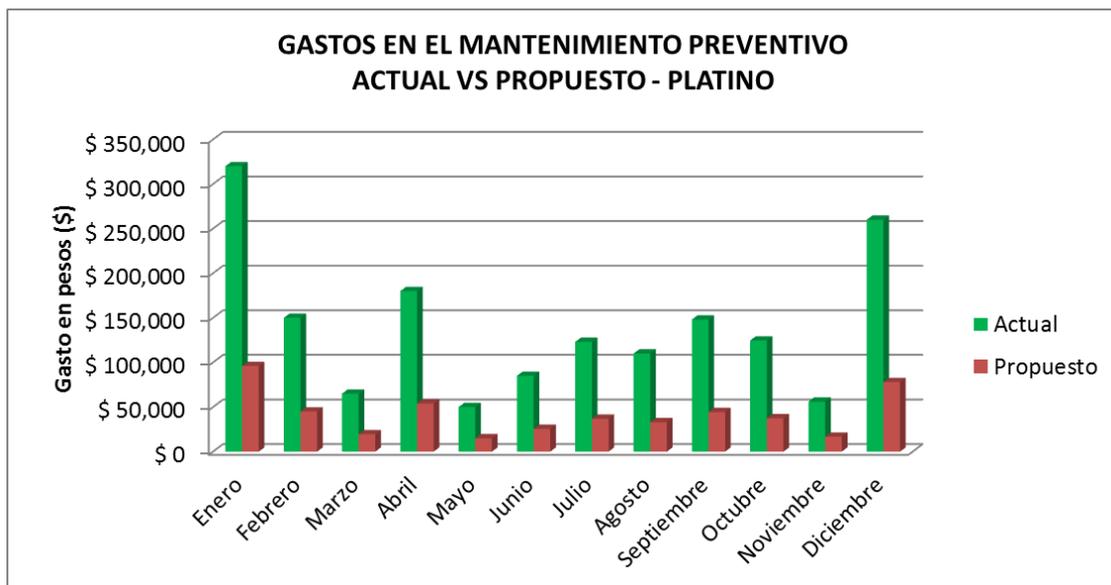
**Gráfica 34: Porcentaje de ahorro por tecnología para el mantenimiento programado-Platino.**

El Modelo de optimización arrojó tecnologías para la categoría platino, que permitirá generar a ahorros en el mantenimiento programado. Algunas de estas tecnologías son intercambiador de aire, eliminador de vapores, revestimiento ecológico, entre otras. Estas tecnologías contribuyen a generar un ahorro del 80% de la sección de mantenimiento programado, esto equivale a un ahorro de \$ 2.674.000 total al año.

**Gráfica 35: Porcentaje de ahorro en el mantenimiento preventivo - Platino.**

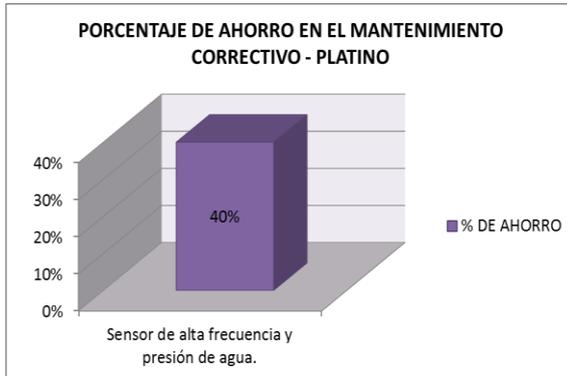


Dentro de las tecnologías arrojadas por el modelo de optimización, se encuentra la trampa de grasas, esta tecnología le generará el 70% del ahorro en los mantenimientos preventivos. Este porcentaje corresponde a un ahorro de \$ 1.170.000 en el año. Esto se ilustra en la gráfica 35.



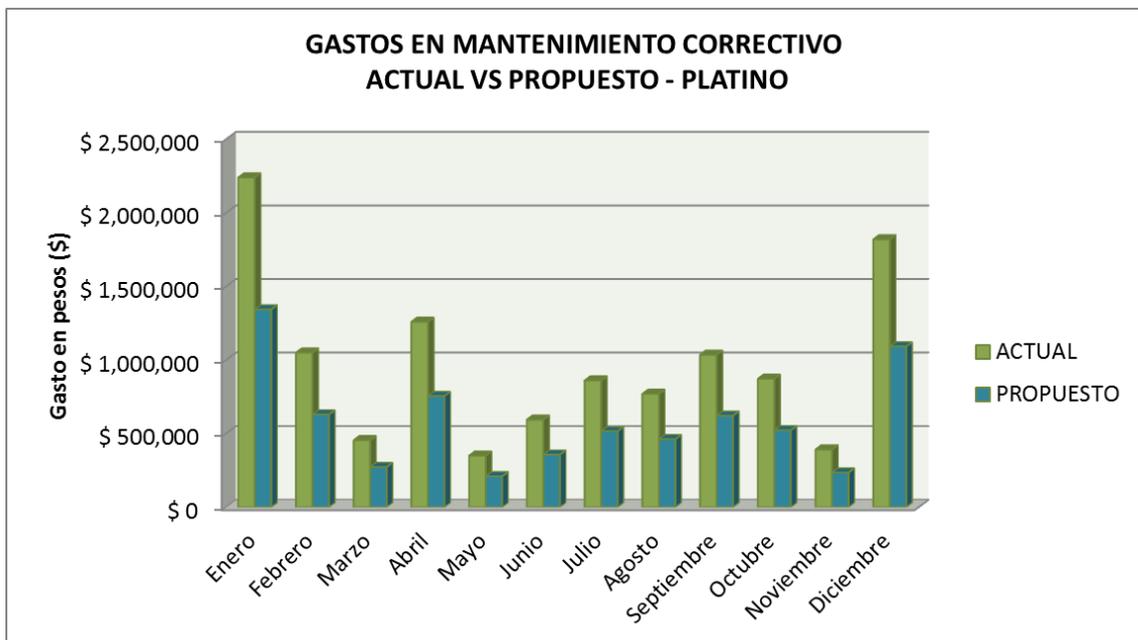
**Gráfica 36: Gastos en el mantenimiento preventivo actual vs propuesto – Platino.**

En la gráfica 36 se muestran los ahorros mensuales por concepto de mantenimiento preventivo. Si el propietario decide obtener la categoría platino podrá tener un beneficio al año de \$1.170.000.000 en este concepto, así dejaría de pagar \$ 1.670.000 al año y pasaría a pagar \$ 501.000.000 aproximadamente al año



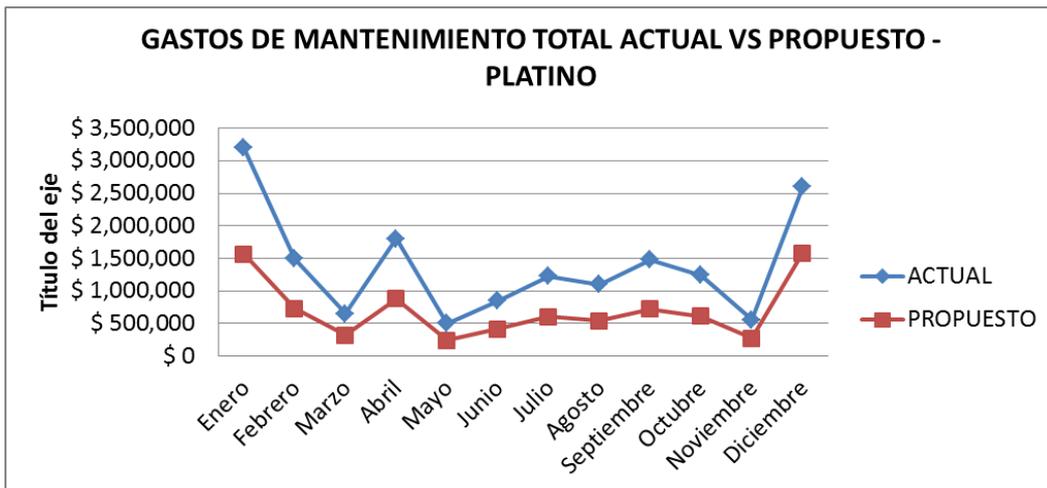
**Gráfica 37: Porcentaje de ahorro en el mantenimiento correctivo-Platino.**

Dentro de las tecnologías arrojadas por el modelo de optimización, se encuentran los sensores de frecuencia y de presión de agua, estas tecnologías le generarán el 40% del ahorro en los mantenimientos correctivos. Este porcentaje corresponde a un ahorro de \$ 4.680.000 en el año. Esto se ilustra en la gráfica 37.



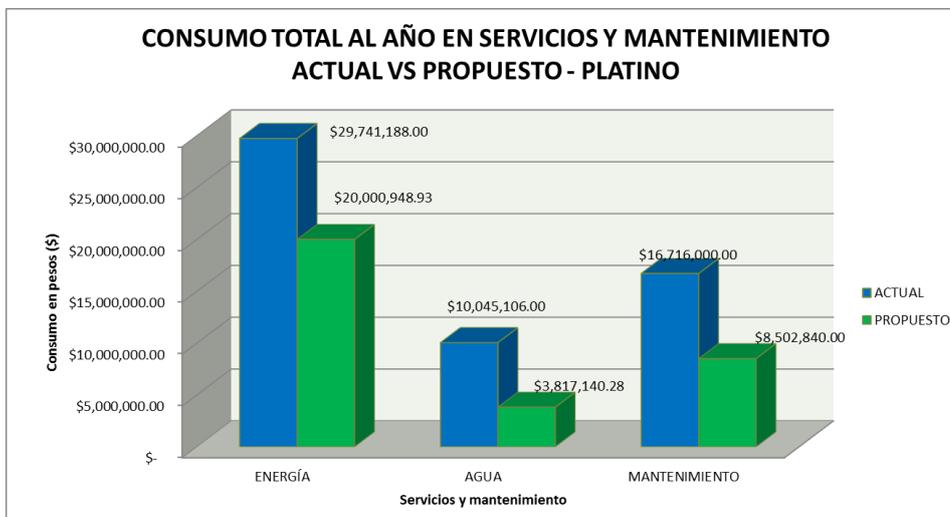
**Gráfica 38: Gastos en mantenimiento correctivo actual vs propuesto-Platino.**

En la gráfica 38 se muestran los ahorros mensuales por concepto de mantenimiento correctivo. Si el propietario decide obtener la categoría platino podrá tener un beneficio al año de \$4. 680.000 en este concepto, así dejaría de pagar \$ 11.700.000 al año y pasaría a pagar \$ 7.000.000 aproximadamente al año. (Ver anexo Q, tabla 3)



Gráfica 39: Gastos de mantenimiento total actual vs propuesto Platino.

En la gráfica 39 se muestra el total de gastos de mantenimiento actual por meses, comparado con el propuesto. Actualmente el restaurante está gastando \$ 16.716.000 de pesos aproximadamente al año en gastos de mantenimiento totales, si el propietario decide obtener la categoría platino, podrá ahorrar el 49.2%, lo que equivale a un ahorro al año de \$8.213.000 de pesos aproximadamente.

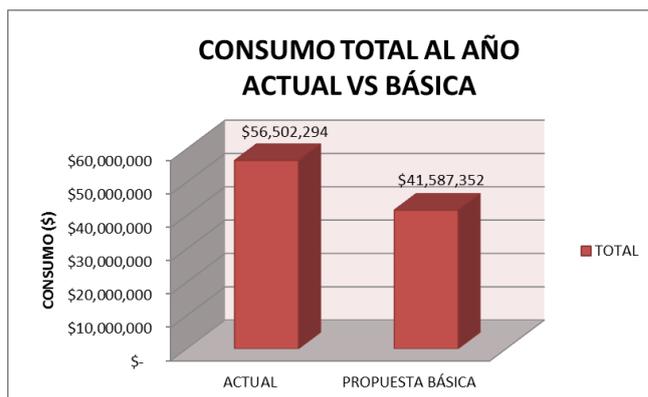


Gráfica 40: Consumo total al año en servicio y mantenimiento actual vs propuesto-Platino.

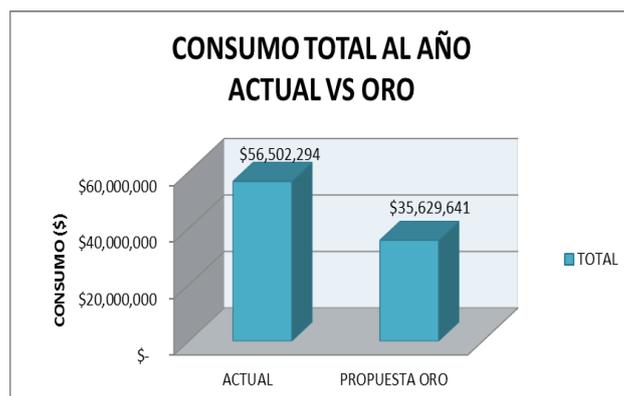
En la gráfica 40 se muestra la consolidación de los ahorros que se podrían obtener a partir de la implementación de las tecnologías para los servicios de energía, agua y mantenimiento. Actualmente el restaurante está gastando \$56.502.294 en estos servicios, pero si el propietario decidiera implementar las tecnologías para alcanzar la categoría platino, podrá obtener un porcentaje de ahorro total del 42.7%, lo que corresponde a obtener un beneficio total de \$24.181.000 de pesos al año aproximadamente. Esto significa que pagaría al año \$33.320.000 de pesos en los servicios mencionados.

En resumen, se conoce según los datos arrojados por el modelo de optimización, que la inversión inicial para lograr el restaurante sostenible para la categoría platino es de \$ 38, 664,338 Cop, los beneficios que se obtendrían serían de \$24.181.000 de pesos al año. De acuerdo con lo anterior, el propietario podrá pagar su inversión inicial con los beneficios obtenidos logrando en el mes 20 un flujo positivo.

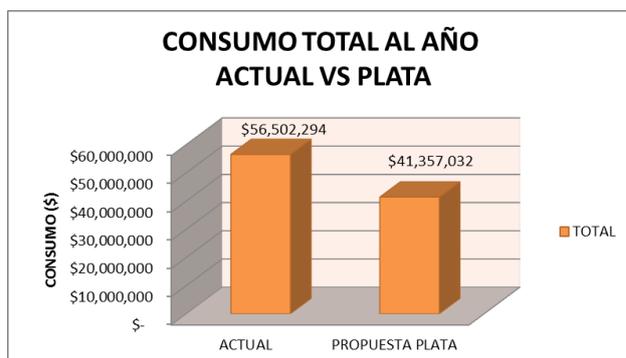
## PARA CONCLUIR



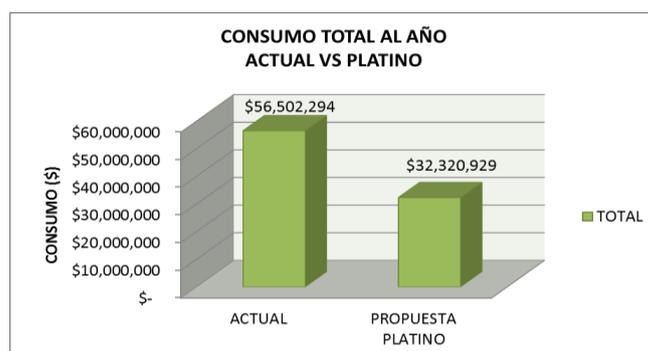
Gráfica 41: Consumo total al año actual vs básica.



Gráfica 43: Consumo total al año actual vs oro.



Gráfica 42: Consumo total al año actual vs plata.



Gráfica 44: Consumo total año actual vs platino.

En los gráficos 41, 42, 43 y 44 se muestra la consolidación de los consumos totales al año de servicios y mantenimiento que se podrían obtener a partir de la implementación de las tecnologías para cada una de las categorías (básica, plata, oro) para los servicios de energía, agua y mantenimiento. Actualmente el restaurante está gastando \$56.502.294 en estos servicios, pero si el propietario decidiera implementar las tecnologías para alcanzar la categoría básica podría ahorrar un 26% que equivale a un ahorro de \$14.914.000 aproximadamente, si decidiera implementar las tecnologías para alcanzar la categoría plata obtendría el propietario un beneficio del 27% que corresponde a un ahorro anual de \$ 15.140.000, Si se quiere lograr la categoría oro el porcentaje de ahorro que se obtendría al año sería del 37% respecto del total lo cual significa un ahorro de \$ 20.872.000; o Si se quiere lograr la categoría platino los beneficios al año serían de 43% lo que corresponde a un ahorro al año de \$ 24.181.000.

## 8. INDICADORES

En este capítulo se conocerán los indicadores eco eficientes que conllevan a proporcionar seguimiento y control para conocer los beneficios o ahorros generados después de la implementación de tecnologías que contribuyan a formar un interior sostenible. Los indicadores presentados están relacionados con el consumo de agua, energía y uso de los materiales.

### 8.1 Utilidad De Los Indicadores

Los indicadores de sostenibilidad son una herramienta que permiten medir el progreso de la empresa hacia sistemas de producción sostenible, así como generar conciencia, y sensibilización<sup>22</sup>. En este proyecto se definirá un conjunto de indicadores básicos para el desarrollo sostenible que serán las herramientas concretas para promover y medir los logros. Por ende se define una metodología que contribuye a evaluar el desempeño de las empresas.

Generalmente las empresas no tienen presente los impactos ambientales y sociales. Esto ocurre principalmente por el desconocimiento o falta de medidas estandarizadas que generan un obstáculo para las empresas<sup>23</sup>. Estandarizar las medidas para que sean aplicables a cualquier empresa se hace complicado debido a la diversidad de las actividades empresariales. Sin embargo, este proyecto presenta una serie de indicadores aplicables a las empresas comerciales. Estas empresas presentan necesidades comunes: todas requieren del uso de energía, agua y, en volúmenes diferentes, generan residuos.

La norma internacional ISO 14031 tiene como objetivo la evaluación del desempeño ambiental. Ayuda a las organizaciones a identificar los aspectos ambientales propios de la compañía, determinar cuales de ellos son significativos, y de acuerdo con esto, busca establecer criterios para un mejor desempeño ambiental. Finalmente evalúa el

---

<sup>22</sup>Lowell Center for Sustainable Production.Sustainable Production: A Working Definition. Informal Meeting of the Committee Members, 1998.{en línea}, disponible en: <<http://sustainableproduction.org/downloads/Guilford%20Case%20Study.pdf>

<sup>23</sup>Velez Veselay Ellenbecker Michael: Indicators of sustainable production: framework and methodology, Journal of Cleaner Production 9 (2001), Base de datos: ELSEVIER.

desempeño ambiental frente a esos criterios.<sup>24</sup>La norma ISO 14031 establece indicadores expresados en forma de medidas directas, eventos o números. También abarca criterios medioambientales en el uso adecuado de los materiales, la energía, el agua, los residuos, los productos con propiedades peligrosas, el suelo, y el control de las emisiones, entre otras

## 8.2. Características De Los Indicadores

Los indicadores son elementos clave para el conocimiento de la situación actual de las empresas. Son útiles, además, porque proporcionan información para realizar seguimientos periódicos y controles de aspectos involucrados en la compañía. En este caso, los indicadores permitirán evaluar los aspectos que influyen en los impactos ambientales.

Un indicador se caracteriza por lo siguiente;

**Tiene una unidad de medida:** La unidad de medida es la métrica, utilizada en el cálculo del indicador, representada en kilogramos, horas, pesos y porcentajes, entre otras.

**Periodo de medición:** Es el tiempo necesario para calcular y darle seguimiento al indicador. El periodo puede ser mensual, bimestral, semestral y anual, entre otros.

**Medición del cálculo:** Es una ecuación en donde se involucran unas variables de acuerdo con lo que se quiera medir. Se expresa en términos de fracciones o porcentajes.

**Meta:** Es el objetivo que se quiere alcanzar, y generalmente se presenta en porcentaje.

Los indicadores que se muestran a continuación se caracterizan por su facilidad de aplicación y evaluación. Son factibles de usar y dan resultados significativos: abordan los principales problemas en concordancia con la sostenibilidad ambiental. A continuación se presentan la descripción, el procedimiento, formulación y la interpretación de cada uno de los indicadores seleccionados.

---

<sup>24</sup> Norma técnica Colombiana, NTC- ISO 14031: Gestión ambiental, evaluación del desempeño ambiental. 2000

### 8.3. Indicadores Seleccionados De Acuerdo Al Impacto Ambiental

#### 8.3.1 Indicador: Consumo de agua

Indicador	A.1	Nombre del indicador
Agua		Consumo de agua
<b>Definición</b>	El agua es uno de los recursos más valiosos que tiene el ser humano. Este recurso es cada vez más limitado debido a la contaminación. La manera de retrasar este proceso es fomentando la conciencia de reducción y reutilización del agua.	
<b>Unidad de medida</b>	Metro cúbico (m3)	
<b>Metodología de cálculo del indicador</b>	1. Calcular el consumo total de agua (este dato se obtiene con la factura de agua de servicios públicos). 2. Restar la cantidad de agua que se reutiliza para algún proceso (si existe una recirculación de agua). 3. Determinar una unidad de medida para la producción de unidades o servicio (\$ pesos totales de ventas, o Kg de producto vendido). 4. Dividir el total de agua consumida por la unidad de producción.	
<b>Formulación</b>	$\text{Consumo de agua} = \frac{\text{Consumo total de agua (m3)}}{\text{Total de ventas de producto o servicio en pesos (\$)}}$	
<b>Interpretación</b>	Este indicador permite conocer el consumo de agua pura utilizada por unidad de producto o servicio	
<b>Frecuencia del análisis</b>	Bimensual	
<b>Meta</b>	Disminuir el consumo de agua por producto o servicio por medio de la implementación de proyectos o programas. La meta varía con respecto a la certificación que quiera obtener la empresa	

### 8.3.2. Indicador: Consumo De Energía

Indicador	E.1	Nombre del indicador
Energía		Consumo de energía
<b>Definición</b>	El gran consumo de la energía presenta como consecuencia el agotamiento de los combustibles fósiles (gas, carbón y petróleo), así como el calentamiento global y el aumento de la contaminación, entre otras. El desarrollo sostenible se logra con el uso de energías renovables.	
<b>Unidad de medida</b>	Kilo watt hora (Kwh)	
<b>Metodología de cálculo del indicador</b>	1. Calcular el consumo total de energía (este dato se obtiene con la factura de energía de servicios públicos). 2. Determinar una unidad de medida para la producción de unidades o servicio (\$ pesos totales de ventas, o Kg de producto vendido). 4. Dividir el total de energía consumida por la unidad de producción.	
<b>Formulación</b>	$\text{Consumo de energía} = \frac{\text{Consumo total de energía (Kwh)}}{\text{Total de ventas de producto o servicio en pesos (\$)}}$	
<b>Interpretación</b>	Este indicador permite conocer el consumo de energía utilizada por unidad de producto o servicio	
<b>Frecuencia del análisis</b>	Mensual	
<b>Meta</b>	Disminuir el consumo de energía por producto o servicio por medio de la implementación de proyectos o programas.	

### 8.3.3. Indicador: Uso De Energía Renovable

Indicador	E.2	Nombre del indicador
Energía		Uso de energía renovable
<b>Definición</b>	El objetivo es promover el uso de energías renovables como la hidroeléctrica, eólica, solar, geotérmica, mare motriz, la biomasa y los biocombustibles con el fin de lograr el desarrollo sostenible.	
<b>Unidad de medida</b>	Porcentaje (%)	
<b>Metodología de cálculo del indicador</b>	1. Calcular el consumo total de energía en Kwh, (este dato se obtiene con la factura de energía de servicios públicos). 2. Calcular la energía de fuentes renovables en Kwh (según el tipo de energía renovable: solar, eólica, biomasa, hidráulica). 3. Dividir la energía de fuente renovable al total de energía y multiplicarla por 100 para convertir el indicador en porcentaje.	
<b>Formulación</b>	$\text{Porcentaje de energía} = \frac{\text{Consumo de energía renovable (Kwh)}}{\text{Consumo total de energía (khw)}} * 100$	
<b>Interpretación</b>	Este indicador permite conocer el porcentaje de energía procedente de recursos renovables.	
<b>Frecuencia del análisis</b>	Mensual	
<b>Meta</b>	Aumentar el uso de energía renovable y lograr el desarrollo sostenible.	

### 8.3.4. Indicador: Uso De Materiales

Indicador	M.1	Nombre del indicador
Materiales		Uso de materiales
<b>Definición</b>	El excesivo consumo de los recursos renovables y el agotamiento de los recursos no renovables, se convierten en factores limitantes para el crecimiento económico. La conservación y el uso eficiente de los recursos es un factor fundamental para la supervivencia.	
<b>Unidad de medida</b>	Kilogramos	
<b>Metodología de cálculo del indicador</b>	1. Calcular el consumo total de materiales en kilogramos para la fabricación de los productos totales. 2. Determinar una unidad de medida para la producción de unidades o servicio. (\$ pesos totales de ventas) 3. Dividir el total de materiales consumidos por la unidad de producción.	
<b>Formulación</b>	$\text{Reutilización de materiales} = \frac{\text{Total de materiales consumidos (Kg)}}{\text{Total de ventas en pesos (\$)}}$	
<b>Interpretación</b>	Este indicador permite conocer la cantidad de materiales usados por unidad de producto o servicio	
<b>Frecuencia del análisis</b>	Mensual	
<b>Meta</b>	Disminuir los materiales usados para la producción del producto o servicio	

### 8.3.5. Indicador: Desechos Generados

Indicador	M.2	Nombre del indicador
Materiales		Desechos generados
<b>Definición</b>	<p>La cantidad de basura generada en Colombia es de 23.000 toneladas aproximadamente. De ese valor la capital genera 4.800 toneladas de residuos diarios, de acuerdo con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Los mayores problemas que se presentan con la generación de grandes volúmenes de residuos son, entre otros, la afectación de la naturaleza y la aparición de sustancias tóxicas que afectan y ponen en riesgo la salud humana y el medio ambiente. Por esto es importante controlar la generación de desechos.</p>	
<b>Unidad de medida</b>	Kilogramos (Kg) o Toneladas (Ton)	
<b>Metodología de cálculo del indicador</b>	<p>1. Calcular el total de residuos generados en el lugar (Peso en Kg o Ton). 2. Determinar una unidad de medida para la producción de unidades o servicio. (\$ pesos totales de ventas), 3. Dividir el total de residuos generados por la unidad de producción.</p>	
<b>Formulación</b>	$\text{Desechos generados} = \frac{\text{Total de residuos generados (Kg) o (Ton)}}{\text{Total ventas en pesos (\$)}}$	
<b>Interpretación</b>	<p>Este indicador permite conocer la cantidad de desechos generados por unidad producida.</p>	
<b>Frecuencia del análisis</b>	Mensual	
<b>Meta</b>	<p>Disminuir la generación de residuos, con la ayuda de programas para la reducción o reutilización de materiales generados.</p>	

### 8.3.6. Indicador: Quejas O Devoluciones

Indicador	F.1	Nombre del indicador
Efectividad		Quejas o Devoluciones
<b>Definición</b>	Lo ideal de todas las empresas es llegar a cero quejas o devoluciones. El nivel de servicio al cliente y la calidad de los productos van directamente relacionados con la efectividad y gestión de la cadena de suministro: flujos de información, de materiales, productos, entre otros, esto significa que cuanto más efectiva sea la gestión de la cadena, mayor valor añadido incorporará el servicio prestado al cliente. Entonces, si se reduce la tasa de reclamos se minimizan la generación de residuos y por lo tanto la carga del medio ambiente.	
<b>Unidad de medida</b>	Número de quejas o devoluciones	
<b>Metodología de cálculo del indicador</b>	1. Identificar la cantidad de clientes con reclamos o el número de unidades devueltas. 2. Calcular el nivel de producción o Calcular el número de clientes atendidos.3. Dividir la cantidad reclamos o unidades devueltas por la producción total o total de clientes atendidos.	
<b>Formulación</b>	$\text{Tasa de reclamos o devoluciones} = \frac{\text{Número de reclamos o devoluciones}}{\text{Total de producción o total de clientes atendidos}}$	
<b>Interpretación</b>	Este indicador permite conocer la tasa de reclamos o devoluciones generados en el mes.	
<b>Frecuencia del análisis</b>	Mensual	
<b>Meta</b>	Disminuir el número de reclamos o devoluciones en la empresa. La meta de todas las empresas es tener cero reclamos.	

## 9. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

### Propuesta de diseño y desarrollo

La presente propuesta abarca el diseño de un modelo optimización expresado de forma matemática y el desarrollo de una herramienta para conocer los costos óptimos de tener interiores comerciales ambientalmente sostenibles, revisado para un restaurante.

La dedicación para el diseño de optimización, y la obtención de los resultados se realizó en un periodo de tiempo de siete meses. A continuación se presentan los aspectos involucrados para la determinación del costo de la propuesta.

**Duración:** La duración para el desarrollo del proyecto fue de siete meses, de los cuales se dedicaron seis horas diarias dentro de los cinco días laborales, esto da como resultado una duración de

- 600 horas de dedicación al proyecto

La hora hombre es de \$20.000, lo que constituiría un valor por mano de obra de \$ 12.000.000

**Asesoría y dirección:** Para el desarrollo del proyecto se contó con la asesoría de un profesor calificado durante los siete meses. El valor de la asesoría es de \$ 5.100.000 de acuerdo con el valor de la matrícula.

**Otros:** Dentro de estos aspectos se encuentran las herramientas involucradas para el desarrollo satisfactorio del proyecto, como lo son transporte, acceso a internet, y fotocopias, entre otros. El valor por estos conceptos es de \$ 850.000

CONCEPTO	PRECIO
Salario (H/H= \$20.000)	\$ 12.000.000
Asesoría y dirección	\$ 5.1000
Desarrollo de la herramienta en el programa de modelación SOLVER	\$ 1.500.000
Otros	\$ 850.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 19.450.000</b>

De acuerdo con los aspectos mencionados el costo del proyecto total es de \$19.450.000

## 10. CONCLUSIONES

De acuerdo con la investigación y los análisis realizados para diseñar un modelo de optimización que permitió conocer los costos de generar interiores comerciales ambientalmente sostenibles y de acuerdo con los resultados obtenidos, a continuación se enumeran las conclusiones del trabajo.

- El modelo de optimización diseñado en esta propuesta le será de gran utilidad a las compañías que quieran diseñar interiores comerciales de tipo sostenible para conocer los costos óptimos que incurren según el nivel de sostenibilidad que deseen obtener.
- De acuerdo con las investigaciones realizadas referentes a modelos de optimización, se encontró que no hay un prototipo de modelo que se ajuste completamente a las características del problema planteado en este proyecto es por esto que se hizo necesario diseñar uno.
- El diseño de la herramienta que representa el modelo de optimización, permitió conocer, que el porcentaje mínimo adicional que se requiere para diseñar un restaurante ambientalmente sostenible es de 9%.
- De acuerdo con los beneficios analizados, se conoció que el porcentaje mínimo de ahorro que se puede lograr al tener un interior sostenible es de un 25% por ejemplo para categoría básica. Para el restaurante que se tomó como objeto de estudio.
- La selección de los indicadores eco eficientes, son una propuesta que le será de gran utilidad a las compañías que decidan diseñar sus locales ambientalmente sostenible, estos les permitirá tener un seguimiento y control sobre los consumos de agua, energía y la utilización de materiales por unidad de producto fabricado; adicionalmente son fáciles de usar y dan resultados significativos ya que abordan los principales problemas en concordancia con la sostenibilidad ambiental.

## 11.RECOMENDACIONES

- Para mantener las instalaciones y equipos con las mejores condiciones, y asegurar la sostenibilidad ambiental en el interior, es recomendable realizar mantenimientos programados de acuerdo a la sugerencia del proveedor de la tecnología implementada o como política empresarial realizarlas por lo menos tres veces al año. Así con esto la empresa no recaerá en costos altos debido a la realización de mantenimientos correctivos y con esto contribuirá a disminuir este porcentaje que los representa que es del 70%.
- Revisar que cada una de las tecnologías corresponda con la actividad económica del interior que se quiere diseñar ambientalmente sostenible. Esto le permitirá al usuario asegurar que los resultados arrojados por el modelo sean coherentes.
- Actualizarse en lo referente a nuevas tecnologías que se puedan implementar en el interior, y mejorar en las ya implementadas, dado que día a día el avance tecnológico es acelerado, y uno de los retos de construir con sostenibilidad es estar a la vanguardia de estas.
- Mantener capacitados al personal, en temas referentes al buen uso de la energía, agua, materiales y en general de todos los recursos naturales, esto es necesario ya que todas las personas que ocupan el interior deben trabajar para un mismo objetivo para obtener resultados favorables.
- Dada la amplitud presentada en el sector de la construcción, sería interesante, para darle continuidad a este proyecto, poder involucrar todos los aspectos relacionados con el levantamiento de edificaciones, esto con el fin de conocer los beneficios globales de la construcción, desde el diseño pasando por la fase de cimentación, instalación de redes; ya que este proyecto se enfocó únicamente en el interior.

## BIBLIOGRAFÍA

- Hernández Ayuso, María del Carmen, Introducción a la programación lineal, primera edición, editorial Universidad Nacional Autónoma de México, 2007, página 6.
- Taha, Hamdy, Investigación de operaciones, Séptima edición, Editorial Pearson, 2004, Página 407.
- U.S. Green Building Council: What LEED is. [en línea]. (2009). [Consultado 3 mar. 2012]. Disponible en:  
<<http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1988>>
- Bourzac Katherine. Unos paneles de cartón y eso que se “derriten” y ayudan a mantener las habitaciones a bajas temperaturas. En: Technologyreview [En línea]. Febrero 2010. Disponible en:  
<[http://www.technologyreview.es/read\\_article.aspx?id=36082&pg=1](http://www.technologyreview.es/read_article.aspx?id=36082&pg=1)>
- Gypsum National. Wall Panels Moderate Indoor Temperatures. En: ThermalCore PCM panel [En línea]. Disponible en  
<<http://thermalcore.info/product-info.htm>>
- Popular Science. The Green dream: Power Wall. En: ThermalCore.info [En línea]. Agosto 2010. Disponible en:  
<[http://thermalcore.info/news/Popular\\_Science\\_8.10.pdf](http://thermalcore.info/news/Popular_Science_8.10.pdf)>
- Robotica&  $\mu$ Controladores Pic. Sensores. En: X-robotics.com [En línea]. Disponible en <<http://www.x-robotics.com/sensores.htm>>
- Venmar. The Venmar air exchanger: for a healthier environment. En: Venamar.ca [En línea]. Disponible en  
<<http://www.venmar.ca/en/airexchangers.aspx>>
- DrazerMaricel. Pinturas que purifican el aire. En: ipsnoticias.net [En línea]. Junio 7 del 2008. Disponible en  
<<http://ipsnoticias.net/nota.asp?idnews=88702>>
- Otto Graf GmbH, Teningen. Sistemas de recuperación de agua de lluvia. En: Construible.es [En línea]. Disponible en  
<[http://www.construible.es/construible/biblioteca/catalogo\\_carat-graf.pdf](http://www.construible.es/construible/biblioteca/catalogo_carat-graf.pdf)>
- Kireiusa. Modern design, naturally: Kireiusa Board zen modern. En: kireiusa.com [En línea]. Disponible en  
<[http://www.kireiusa.com/kirei\\_viewer/kirei.html](http://www.kireiusa.com/kirei_viewer/kirei.html)>
- Súper Robótica. srf235 sensor ultrasonidos alta frecuencia s320109. En: superrobotica.com [En línea]. Actualizada Marzo 8 del 2012. Disponible en<<http://www.superrobotica.com/S320109.htm>>

- Rota-Loo. Waterless Advantage Urinals. En: rotaloo.com [En línea]. Disponible en <http://www.rotaloo.com/02urinal.html>
- Corona. Catálogo: Orinal Santa fe. En: corona.com.co [En línea]. Disponible en <http://www.corona.com.co/2010/Corona/Catalog/Product/Institucionales/Orinales/Orinales/004011001>
- Ifmelectronics. Sensor de presión con función de diagnóstico de bombas. En: ifm.com [En línea]. Disponible en [http://www.ifm.com/ifmes/news/news\\_753HMN.htm](http://www.ifm.com/ifmes/news/news_753HMN.htm)
- Ecaro 25 con tecnología de impulso: Supresión de incendios con agente limpio. En: Fike.com [En línea]. Disponible en <http://www.fike.com/documents/firesupp/fiessys/ecaro/promo/brochures/B9091%20SPA%20ECARO-25.pdf>
- Colombia-Leds. Tecnología Led. En: colombialeds.com [En línea]. Disponible en <http://www.colombialeds.com/index.php?page=tl>
- Fundación EroskiConsumer. Madera con certificación ecológica. En: consumer.es [En línea]. Junio 30 del 2006. Disponible en [http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/urbano/2006/06/30/153453.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2006/06/30/153453.php)
- Sitio solar, portal de energías renovables. Jardines bioclimáticos-jardines que consumen poca agua. En: sitiosolar.com [En línea]. Disponible en <http://www.sitiosolar.com/jardines%20que%20consumen%20poca%20agua.htm>
- Jardines verticales y cubiertas vegetales: Tapices verticales en jardinería bioclimática. En: blogspot.com [En línea]. Octubre 31 del 2010. Disponible en <http://jardinesverticalesycubiertasvegetales.blogspot.com/2010/10/tapices-verticales-en-jardineria.html>
- Werner & Sons. Green Home Improvements since 1977. En: wernerandsons.com [En línea]. Disponible en <http://www.wernerandsons.com/pgWindows.htm>
- Erenovable, blog de energías renovables. Bioclimatizadores: El aire acondicionado ecológico. En: erenovable.com [En línea]. Junio 6 del 2006. Disponible en <http://erenovable.com/2006/06/06/bioclimatizadores-los-aires-acondicionados-ecologicos/>
- Electrolug. Bioclimatizadores: Características de los Bioclimatizadores. En: electrolug.com [En línea]. Disponible en <http://www.electrolug.com/bioclimatizadores.htm>

- RBING, internationaltrade&consulting. Válvula de descarga: Twin ahorradora de agua. En: orbing.biz [En línea]. Disponible en<<http://orbing.biz/products/herr/valvula.html>>
- The innovation revolution in cooling technology. Soluciones bioclimáticas: Hechos clave sobre la bioclimatización. En: seeleyeurope.com [En línea]. Disponible en<[http://www.seeleyeurope.com/index\\_es.asp](http://www.seeleyeurope.com/index_es.asp)>
- Mi estrella de mar. Purificadores de aire específicos para sensibilidad química múltiple. En: blogspot.com [En línea]. Julio 22 del 2007. Disponible en<<http://mi-estrella-de-mar.blogspot.com/2007/07/purificadores-de-aire-especificos-para.html>>
- Trampas de grasas. En: Artículo en PDF [En línea]. Disponible en <<http://insumosambientales.com/Imagens/PDF/ARTICULO%20TRAMPAS%20ODE%20GRASAS.pdf>>
- Vía Binaria. Ártica, aire acondicionado ecológico gasta 10 veces menos energía. En: viabinaria.com [En línea]. Disponible en<<http://www.viabinaria.com/2009/07/artica-aire-acondicionado-ecologico-gasta-10-veces-menos-energia.html>>
- Siber ventilación inteligente. Ventilación y tratamiento del aire: Sistema de ventilación híbrida. En: siberzone.es [En línea]. Disponible en<[http://www.siberzone.es/?page\\_id=25](http://www.siberzone.es/?page_id=25)>
- Tehsa. Eco-productos: Montura para grifería tradicional, ecológica. En: ahorraragua.com [En línea]. Disponible en<[http://ahorraragua.com/html/modules.php?op=modload&name=My\\_eGallery&file=index&do=showpic&pid=178&orderby=hitsD](http://ahorraragua.com/html/modules.php?op=modload&name=My_eGallery&file=index&do=showpic&pid=178&orderby=hitsD)>
- Soluciones químicas para el cambio climático. Construcción, mobiliario y aire fresco de la química. En: folcomuns.firabcn.es [En línea]. Disponible en<[http://folcomuns.firabcn.es/solucionesquimicas/habitacion\\_ninos.html](http://folcomuns.firabcn.es/solucionesquimicas/habitacion_ninos.html)>
- Archi Expo. Panel aislante rígido de espuma fenólica para muros. En: archiexpo.es [En línea]. Disponible en<<http://www.archiexpo.es/prod/kingspan-insulation/paneles-aislantes-rigidos-de-espuma-fenolica-para-muro-59603-281076.html>>
- La casa sostenible. Aire acondicionado por geometría. En: blogspot.com [En línea]. Disponible en<<http://lacasasostenible.blogspot.com/2011/12/aire-acondicionado-por-geotermia.html>>
- Soliclíma energía solar. Productos y servicios: Tratamiento de aguas grises. En: soliclíma.es [En línea]. Disponible en<<http://www.soliclíma.es/aplicaciones/4-tratamiento-de-aguas/96-tratamiento-de-aguas-grises.html>>

- Arquigrafico. Plantas de tratamiento de agua residuales. En: arquigrafico.com [En línea]. Disponible en <<http://www.arquigrafico.com/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales>>
- Interiores. Revestimientos ecológicos para paredes. En: interiores.com [En línea]. Disponible en <<http://interiores.com/revestimientos-ecologicos-para-paredes/>>
- Decoración hogar. Ideas para decorar el hogar: Cuartos de baño sostenible y ecológico. En: hogardecorado.com [En línea]. Disponible en <<http://www.hogardecorado.com/cuartos-de-ba-o-sostenibles-y-ecologicos/>>
- El comercio. Maikelnais Blog: Estiércol, pronto podrás caminar sobre él. En: elcomercio.es [En línea]. Febrero 12 del 2007. Disponible en <<http://maikelnai.elcomercio.es/2007/02/12/estiercol-pronto-podras-caminar-sobre-el/>>
- Inventor. Acerca de inventor: Verde inventor. En: esinventor.com [En línea]. Disponible en <<http://esinventor.com/acerca-de-inventor/verde-inventor/121-verde-inventor>>
- Infurma. Nuevos motores ecoeficientes para las campanas extractoras de Pando. En: infurma.es [En línea]. Noviembre 2. Disponible en <<http://noticias.infurma.es/empresa-2/nuevos-motores-ecoeficientes-para-las-campanas-extractoras-de-pando/586>>
- Guardian SunGuard. Strain Pattern. En: sunguardglass.com [En línea]. Disponible en <[http://www.eu.en.sunguardglass.com/SpecificationsResources/TechnicalLibrary/TechnicalInformation/gi\\_010763](http://www.eu.en.sunguardglass.com/SpecificationsResources/TechnicalLibrary/TechnicalInformation/gi_010763)>
- GuardianSunGuard. GuiaSunGuard para la certificación LEED. En: Articulo en PDF [En línea]. Disponible en <[http://www.na.es.sunguardglass.com/stellentdev/groups/sunguardmexico/documents/web\\_assets/gi\\_002873.pdf](http://www.na.es.sunguardglass.com/stellentdev/groups/sunguardmexico/documents/web_assets/gi_002873.pdf)>
- Genera tu energía. Extractores de aire sostenibles que funcionan con energía solar o eólica. En: generatuenergia.com [En línea] Julio 15 del 2011. Disponible en <<http://generatuenergia.com/2011/07/15/ventiladores-techos-exteriores-sostenibles-que-funcionan-con-energias-alternativas-solar-o-eolica/>>
- TOTO. Eficiencia sin sacrificar el desempeño. En: totousa.com [En línea]. Disponible en <<http://espanol.totousa.com/Green/Products/HighEfficiencyToilets.aspx>>
- TOTO. Grifos autónomos. En: totousa.com [En línea]. Disponible en <<http://espanol.totousa.com/Green/Products/EcoPowerFaucets.aspx>>

- Corona. Catálogo pisos & paredes. En: Artículo en PDF [En línea] 2010. Disponible en<<http://www.corona.com.co/2010/Files/Uploads/corona/catalogos/catalogoExportacion.pdf>>
- Allbiz. Neveras y congeladores solares. En: all.biz [En línea]. Actualizado en febrero 8 del 2012 Disponible en<<http://www.co.all.biz/g18524/>>
- IngConstantin Cristian. “Leviton le ayuda a obtener puntos leed”. En: Artículo en PDF.[En línea]. Marzo 16 del 2011. Disponible en<http://sites6.publicar.com/motoresytableros/descargas/levitonleed.pdf>
- Biohaus. Homatherm: La evolución del aislamiento. En: biohaus.es [En línea]. Disponible en<<http://www.biohaus.es/productos/homatherm.php>>
- Luxycon. Catálogos de productos: Mini- z. En: luxycon.com [En línea]. Disponible en[http://www.luxycon.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=253&Itemid=112](http://www.luxycon.com/index.php?option=com_content&view=article&id=253&Itemid=112)
- Eluniversal. Top tile trae a Colombia porcelanato ecológico. En: eluniversal.com.co [En línea]. Disponible en<<http://www.eluniversal.com.co/cartagena/economica/top-tile-trae-colombia-porcelanato-ecologico-10865>>
- Industrias Gm. ¿Cómo ganar créditos LED? En: igm.mex.tl [En línea]. Disponible en[http://www.igm.mex.tl/659478\\_Ventajas-extractores.htm](http://www.igm.mex.tl/659478_Ventajas-extractores.htm)
- Sobre LED. ¿Por qué tecnología LED en televisión: En: ledtv.es [En línea]. Disponible en<http://ledtv.es/sobre-led/sobre-led/por-que-tecnologia-led-en-television>
- LedyLuz. Focos Led. En: ledyluz.com [En línea]. Disponible en<http://www.ledyluz.com/ledluz/focos-led/n38.html/ledluz/focos-led/n38.html>
- Cámara de Comercio de Bogotá. Movilidad en bicicleta en Bogotá. En: Artículo en PDF [En línea]. Agosto de 2009. Disponible en<[http://www.ccb.org.co/documentos/5054\\_informe\\_movilidad\\_en\\_bicicleta\\_en\\_bogota.pdf](http://www.ccb.org.co/documentos/5054_informe_movilidad_en_bicicleta_en_bogota.pdf)>
- Hanil World. Products: Water Purifier. En: hanilworld.koreasme.com [En línea]. Disponible en<<http://hanilworld.koreasme.com/pro101.html>>
- Protectora. Ahorrar agua: Inodoros de doble descarga o de descarga interrumpible. En: protectora.org.ar [En línea]. Disponible en<<http://www.protectora.org.ar/notas/agua-un-recurso-en-extincion-solicita-legislacion/336/>>

- LariojaOrg. Gestión de RCD's. En: larioja.org [En línea]. Disponible en <<http://www.larioja.org/npRioja/default/defaultpage.jsp?idtab=451979&ldDoc=451597>>
- Universidad Nacional de Colombia facultad de ciencias departamento de física. Distribución del consumo total de energía por uso final y tipo de establecimiento. En: Artículo en Pdf. [En línea] (pág. 28). Abril 2 de 2007. Disponible en <http://www.corpoema.net/Informacion%20FNCE/Eficiencia/INFORME%20FINAL%20TERCIARIO.pdf>
- LEED user. ¿New or existing hardscape? En: leeduser.com [En línea]. Disponible en <http://www.leeduser.com/credit/NC-v2.2/SSc7.1>
- Tickner Joel, Riechmann Jorge. El principio de precaución. En medio ambiente y salud publica: de las deficiones a la práctica. En: books[En línea]. Mayo de 2002 Disponible en <[http://books.google.com.co/books?id=GJFFnx5DIN4C&pg=PA158&lpg=PA158&dq=centro+sostenible+lowell+Massachusetts&source=bl&ots=MOocoYw3aK&sig=l\\_VB3yWvIX0gYnYF9DK4mti6Nw8&hl=en&sa=X&ei=1AyIT57FDpSq8ATdk7XICQ&redir\\_esc=y#v=onepage&q=indicador&f=false](http://books.google.com.co/books?id=GJFFnx5DIN4C&pg=PA158&lpg=PA158&dq=centro+sostenible+lowell+Massachusetts&source=bl&ots=MOocoYw3aK&sig=l_VB3yWvIX0gYnYF9DK4mti6Nw8&hl=en&sa=X&ei=1AyIT57FDpSq8ATdk7XICQ&redir_esc=y#v=onepage&q=indicador&f=false)>
- Norma técnica Colombiana ISO 14031. Gestión ambiental: Evaluación de desempeño ambiental. En: scribd.com [En línea]. Noviembre 22 del 2000. Disponible en <http://www.scribd.com/doc/50334322/NTC-ISO14031>
- Hernández Ayuso, María del Carmen, Introducción a la programación lineal, primera edición, editorial Universidad Nacional Autónoma de México, 2007, página 6.
- U.S. Green Building Council: What LEED is. [en línea]. (2009). [Consultado 3 mar. 2012]. Disponible en: <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1988>
- Hernández Ayuso, María del Carmen, Introducción a la programación lineal, primera edición, editorial Universidad Nacional Autónoma de México, 2007, página 6.
- Taha, Hamdy, Investigación de operaciones, Séptima edición, Editorial Pearson, 2004, Página 407.
- Keithcoors en 15 marzo, 2008 <http://ahuramazdah.wordpress.com/2008/03/15/modelos-cientificos-y-modelos-no-cientificos/>
- Norma técnica Colombiana, NTC- ISO 14031: Gestión ambiental, evaluación del desempeño ambiental. 2000 [en línea], Disponible en: <<http://www.scribd.com/doc/50334322/NTC-ISO14031>>

- Dto física. Caracterización del consumo de energía final en los sectores terciario, grandes establecimientos comerciales, centros comerciales y determinación de consumo para sus respectivos equipos de uso de energía, Universidad Nacional. En [línea], Disponible en <<http://www.corpoema.net/Informacion%20FNCE/Eficiencia/INFORME%20FINAL%20TERCIARIO.pdf>> consulta {marzo, 2012}