**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DEL SUR DE GUANAJUATO**



**Reducción del Consumo Eléctrico mediante la Implementación de Paneles Solares**

Informe de Residencia Profesional

Elaborado por:

Diego Isaac Calderon Bedoya

Asesor:

Antonio Tierrasnegras Badillo

Uriangato, Gto. Mayo de 2025

**Reducción del Consumo Eléctrico mediante la Implementación de Paneles Solares**

Elaborada por:

**Diego Isaac Calderon Bedoya**

Aprobado por. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Nombre del Asesor (Nombre completo y grado)

Docente de la carrera de Ingeniería ….……….

Asesor de la opción de titulación

Revisado por. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Nombre del Revisor (Nombre completo y grado)

Docente de la carrera de Ingeniería ……………

Revisor de la opción de titulación

Revisado por. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

Nombre del Revisor (Nombre completo y grado)

Docente de la carrera de Ingeniería ……………

Revisor de la opción de titulación

**Elementos del trabajo profesional**

* Copia de la portada
* Oficio de Liberación de Proyecto para la Titulación Integral
* Resumen
* Abstract
* Palabras Claves (keywords)
* Agradecimientos
* Dedicatoria
* Índice general
* Índice de figuras
* Índice de tablas
* Índice de contenido
* Contenido (Todo lo que se indica en la tabla de contenido)

Tabla de contenido

[1](#_Toc197727075)

[Capítulo 1 8](#_Toc197727076)

[Introducción. 8](#_Toc197727077)

[Capítulo 2 9](#_Toc197727078)

[Marco teórico (Antecedentes). 9](#_Toc197727079)

[Capítulo 3 14](#_Toc197727080)

[Planteamiento del problema 14](#_Toc197727081)

[Capítulo 4 17](#_Toc197727082)

[Objetivos 17](#_Toc197727083)

[Capítulo 5 21](#_Toc197727084)

[Metodología 21](#_Toc197727085)

[5.1 Diseño de la investigación 22](#_Toc197727086)

[5.1.1 Tipo de estudio 22](#_Toc197727087)

[5.1.2 Fuentes de información 22](#_Toc197727088)

[5.2 Fases del estudio 23](#_Toc197727089)

[5.2.1 Evaluación Costo-Beneficio 23](#_Toc197727090)

[5.2.1.1 Costos de Adquisición y Operación 23](#_Toc197727091)

[5.2.1.2 Beneficios Potenciales 23](#_Toc197727092)

[5.2.2 Evaluación Normativa y Regulatoria 23](#_Toc197727093)

[5.2.3 Recolección de Datos 24](#_Toc197727094)

[5.2.3.1 Encuesta Logística de entregas con drones en la zona de Moroleón y Uriangato 24](#_Toc197727095)

[5.2.3.2 Entrevistas con expertos en logística y normativa aérea. 28](#_Toc197727096)

[5.2.3.3 Simulación de entregas para medir tiempos de entrega, consumo energético y eficiencia operativa. 28](#_Toc197727097)

[5.3 Análisis de Datos 30](#_Toc197727098)

[Capítulo 6 36](#_Toc197727099)

[Resultados 36](#_Toc197727100)

[6.2 Resultados de la simulación de entregas 38](#_Toc197727101)

[6.3 Indicadores del análisis costo-beneficio 38](#_Toc197727102)

[Capítulo 7 40](#_Toc197727103)

[7.1 Relación con los objetivos del estudio 40](#_Toc197727104)

[7.2 Coherencias y contradicciones 41](#_Toc197727105)

[7.3 Implicaciones para la hipótesis y la práctica 42](#_Toc197727106)

[7.4 Nuevos conocimientos y preguntas de investigación 43](#_Toc197727107)

[Capítulo 8 44](#_Toc197727108)

[8.1 Conclusiones 44](#_Toc197727109)

[8.2 Recomendaciones 45](#_Toc197727110)

[8.3 Trabajo a futuro 46](#_Toc197727111)

[Referencias bibliográficas 47](#_Toc197727112)

[Anexos 48](#_Toc197727113)

**Tabla de figuras**

**Índice de tablas**

**Título de la tesis: Reducción del Consumo Eléctrico mediante la Implementación de Paneles Solares**

**Resumen y abstract**:

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo analizar la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema de paneles solares en la institución educativa “Instituto Tecnológico Superior Del Sur de Guanajuato” (ITSUR), con el fin de reducir su consumo eléctrico y los costos asociados. Realizando un diagnóstico energético de las instalaciones, seguido del dimensionamiento de un sistema solar adecuado a las necesidades detectadas. Asimismo, se evaluaron los beneficios ambientales derivados de la reducción en emisiones dañinos para el medio ambiente, así como el potencial impacto positivo en la comunidad estudiantil y en la cultura de sostenibilidad institucional.

Con la realización de este informe se mostraran una estimación de resultados con la incorporación de energías limpias no solo representa un ahorro económico significativo, sino que también fortalece el compromiso ambiental de la institución y promueve un modelo replicable en otros centros educativos.

Abstract

This project aims to analyze the technical and economic feasibility of implementing a solar panel system at the Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato (ITSUR) educational institution in order to reduce its electricity consumption and associated costs. The project conducted an energy assessment of the facilities, followed by sizing a solar system appropriate to the identified needs. The environmental benefits derived from the reduction in harmful emissions were also evaluated, as well as the potential positive impact on the student community and the institutional culture of sustainability.

This report will provide an estimate of the results. The incorporation of clean energy not only represents significant economic savings but also strengthens the institution's environmental commitment and promotes a replicable model in other educational centers.

**Palabras claves (***keywords***)**

* U Energía solar
* Paneles fotovoltaicos
* Consumo eléctrico
* Sostenibilidad
* Energías limpias
* Reducción de costos
* Diagnóstico energético
* Institución educativa
* ITSUR
* Impacto ambiental
* Innovación energética
* Modelo

# ****Capítulo 1****

## ****Introducción.****

En los últimos años, el uso de energías renovables ha cobrado una gran relevancia en distintos sectores alrededor del mundo, y México no ha sido la excepción. Entre estas tecnologías, los sistemas de generación eléctrica mediante paneles solares han demostrado un gran potencial para transformar la forma en que se produce y consume energía, especialmente en contextos donde la eficiencia y el ahorro son una necesidad creciente. En instituciones educativas, como el Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato (ITSUR), el consumo eléctrico representa un gasto operativo constante, lo cual abre la oportunidad de implementar soluciones sustentables que reduzcan costos y al mismo tiempo promuevan una cultura de responsabilidad ambiental.

Este trabajo tiene como objetivo principal analizar el impacto y la viabilidad de la implementación de paneles solares en el ITSUR, con el fin de comprender cómo esta tecnología puede integrarse en el funcionamiento diario de la institución y qué beneficios económicos, energéticos y ambientales podría generar. Las razones que impulsaron esta investigación se basan en el aumento progresivo del costo de la electricidad, la necesidad de reducir la huella ambiental de la institución, y la oportunidad de convertirse en un modelo replicable de sostenibilidad para otras escuelas de nivel superior.

En términos generales, este trabajo busca cumplir con varios objetivos específicos: primero, identificar el consumo energético actual de la institución; segundo, diseñar una propuesta técnica para la instalación de un sistema fotovoltaico; y tercero, evaluar los beneficios económicos y ecológicos derivados de su implementación. A través de este estudio, se espera contribuir al fortalecimiento del compromiso ambiental del ITSUR, así como generar una base técnica y financiera que permita futuras ampliaciones del sistema, consolidando a la institución como líder regional en el uso de energías limpias.

# ****Capítulo 2****

## Marco teórico (Antecedentes).

*Implementación de Paneles Solares*

**Implementación Global de Paneles Solares en Instituciones Educativas**  
Universidades de renombre internacional, como la Universidad de Stanford y la Universidad de Harvard, han implementado sistemas de paneles solares para reducir significativamente su consumo energético y sus costos operativos. Estas iniciativas han demostrado la viabilidad de la energía solar en el entorno académico, generando ahorros sustanciales a largo plazo y fomentando una cultura de sostenibilidad entre estudiantes y personal administrativo.

**Casos en México**  
En México, diversas instituciones educativas han comenzado a incorporar energía solar como alternativa a los métodos tradicionales de suministro eléctrico. Universidades como el Tecnológico de Monterrey han equipado múltiples campus con sistemas fotovoltaicos, logrando abastecer parte importante de su demanda energética mediante fuentes limpias. Asimismo, el Instituto Tecnológico de Chihuahua ha implementado techos solares en sus instalaciones, lo cual ha resultado en una disminución del 40 % en sus costos de electricidad.

El uso de paneles solares en instituciones educativas ha despertado un creciente interés, impulsado por la necesidad de reducir el gasto en energía y disminuir la huella ambiental. Aunque en un principio estos sistemas eran considerados costosos y de difícil mantenimiento, la evolución tecnológica ha permitido que su implementación sea más accesible, confiable y eficiente. Actualmente, muchas escuelas y universidades exploran esta alternativa como parte de sus políticas de responsabilidad social y ambiental.

En el contexto del estado de Guanajuato, instituciones como el Instituto Tecnológico de Celaya y la Universidad de Guanajuato han evaluado o iniciado proyectos piloto de generación solar. Estas experiencias evidencian que la instalación de sistemas fotovoltaicos en el sector educativo puede ofrecer una solución efectiva y sostenible ante los desafíos económicos y energéticos que enfrentan muchas instituciones públicas.

Los paneles solares presentan una ventaja significativa en regiones rurales o con infraestructura eléctrica limitada, ya que permiten generar electricidad de forma autónoma, estable y sin depender completamente de la red. Además, el impacto ambiental se reduce drásticamente, al evitar emisiones contaminantes asociadas con fuentes convencionales de energía.

Sin embargo, la implementación de sistemas solares también enfrenta obstáculos. A pesar de su potencial, aún existen retos relacionados con el financiamiento inicial, la capacitación técnica del personal y la percepción de que esta tecnología puede ser frágil o poco rentable.

**Tipos de Paneles Solares**

En el ámbito de la generación de energía renovable, los paneles solares fotovoltaicos representan una de las soluciones más viables y sostenibles para reducir el consumo eléctrico. Existen diferentes tipos de paneles solares, cada uno con características particulares en cuanto a eficiencia, costo, durabilidad y tecnología de fabricación. A continuación, se describen los más utilizados en proyectos de energía solar:

Paneles Monocristalinos

Los paneles monocristalinos están fabricados a partir de un único cristal de silicio puro. Son reconocidos por su alta eficiencia, que suele estar entre el 18% y el 22%, y por ocupar menos espacio para generar la misma cantidad de energía que otros tipos.

Ventajas: Mayor eficiencia, vida útil más larga (25-30 años), buen rendimiento en condiciones de poca luz.

Desventajas: Costo elevado comparado con otros tipos.



Figura 1. Paneles Monocristalinos

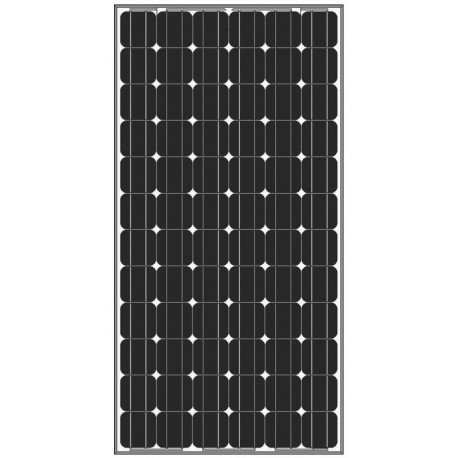


Figura 2. Paneles Monocristalinos Visible

<div align="center"> <b>Figura 1. Panel Solar Monocristalino</b> <sub>Fuente: Solar Reviews. (2024). [Imagen ilustrativa de paneles solares monocristalinos].</sub> </div>

Paneles Policristalinos

Los policristalinos están hechos a partir de fragmentos de silicio fundido y unidos. Aunque su eficiencia es ligeramente menor (15% - 17%), su proceso de fabricación es más económico, lo que los hace una opción común en instalaciones residenciales y comerciales.

Ventajas: Precio accesible, menor desperdicio en el proceso de producción.

Desventajas: Menor eficiencia, mayor sensibilidad a temperaturas altas.



Figura 3. Paneles Policristalinos



Figura 4. Paneles Policristalinos Visible

<div align="center"> <b>Figura 2. Panel Solar Policristalino</b> <sub>Fuente: EnergySage. (2024). [Ejemplo de panel policristalino en campo solar].</sub> </div>

Paneles de Película Delgada

Estos paneles están compuestos por una o más capas delgadas de materiales fotovoltaicos como teluro de cadmio o silicio amorfo. Su eficiencia es menor (10% - 12%), pero son flexibles, livianos y se pueden instalar sobre superficies curvas o no convencionales.

Ventajas: Bajo costo, flexibilidad, buen comportamiento en sombra parcial.

Desventajas: Menor eficiencia, menor vida útil.



Figura 5. Película Delgada



Figura 5. Película Delgada Visible

<div align="center"> <b>Figura 3. Panel Solar de Película Delgada</b> <sub>Fuente: Clean Energy Reviews. (2023). [Ejemplo de aplicación de paneles de película delgada].</sub> </div>Figura 3: Amazon MK30

Fuente: Zipline. (2023, 18 de octubre). [Imagen del dron de entrega de Zipline] [Imagen]. Zipline. https://www.flyzipline.com/newsroom/stories/articles/safe-reliable-delivery-droid-zipline

|  |
| --- |
| Tipo de Panel Eficiencia (%) Costo Durabilidad Aplicaciones comunes |
| Monocristalino 18% – 22% Alto 25 – 30 años Residencial y comercial premium |
| Policristalino 15% – 17% Medio 20 – 25 años Residencial estándar |
| Película delgada 10% – 12% Bajo 10 – 20 años Industrial, techos curvos |

Tabla 1. Comparativa General

# ****Capítulo 3****

## Planteamiento del problema

**3.1. Identificación.** El presente estudio tiene como objeto de análisis la **reducción del consumo eléctrico** mediante la **implementación de sistemas fotovoltaicos** en el **Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato (ITSUR)**. Esta institución, como muchas universidades públicas en México, enfrenta **altos costos energéticos** derivados del uso constante de equipos de cómputo, sistemas de iluminación, laboratorios especializados, aire acondicionado y otras instalaciones de uso intensivo.

Actualmente, el ITSUR depende casi en su totalidad del suministro eléctrico proporcionado por la red pública de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), lo cual implica **gastos operativos elevados y una huella ambiental significativa**. Esta situación se agrava por el crecimiento constante de la matrícula estudiantil, la ampliación de la infraestructura universitaria y el aumento en el uso de tecnologías digitales, factores que **incrementan la demanda energética institucional año con año**.

La raíz del problema radica en la **falta de fuentes alternativas de energía** que permitan reducir dicha dependencia. Esta carencia genera un impacto tanto **económico** —por el gasto en facturación eléctrica— como **ambiental**, debido a las emisiones asociadas a la generación de electricidad convencional.

**3.2. Justificación.** La **implementación de paneles solares** en instituciones de educación superior ha demostrado ser una estrategia eficaz para lograr ahorros económicos sostenibles, reducir la huella de carbono institucional y promover una cultura de sustentabilidad entre la comunidad universitaria.

El ITSUR, al ubicarse en una región con **alta radiación solar promedio anual**, cuenta con **condiciones óptimas para la captación de energía solar**, lo que hace viable la instalación de paneles fotovoltaicos en techos de edificios, estacionamientos y otras áreas aprovechables del campus.

Adoptar este tipo de tecnología no solo representaría un ahorro económico a mediano y largo plazo, sino que también **fortalecería la imagen institucional del ITSUR** como promotor de las energías limpias, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el **ODS 7: Energía asequible y no contaminante**.

Desde el punto de vista académico, la instalación de paneles solares también podría servir como **plataforma de aprendizaje e investigación** para estudiantes de carreras afines a la ingeniería, la energía y el medio ambiente, integrando la teoría con la práctica.

Esta investigación busca evaluar la **viabilidad técnica, económica y ambiental** de incorporar un sistema fotovoltaico en el ITSUR, considerando factores como el consumo energético actual, la inversión inicial, el retorno esperado, el mantenimiento requerido y el impacto ecológico de su implementación.

**3.3. Alcance.** Este estudio se enfocará en el análisis integral de la **viabilidad y el impacto** de instalar un sistema de paneles solares dentro de las instalaciones del **ITSUR**. El análisis abarcará los siguientes aspectos:

* Diagnóstico del **consumo energético actual** de la institución.
* Identificación de áreas disponibles para la instalación de paneles solares.
* **Evaluación técnica y económica** de diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos.
* Estimación del **potencial de ahorro energético** y retorno de inversión.
* Análisis del **impacto ambiental** positivo esperado.

El estudio **no incluirá** el diseño detallado del sistema ni la ejecución del proyecto

como tal. Tampoco abordará otras estrategias de ahorro energético como cambio de luminarias, automatización o eficiencia térmica en edificios. La investigación estará limitada a la **generación de energía eléctrica por medio de paneles solares** y su aplicación **exclusiva en el ITSUR** como estudio de caso.

.

# ****Capítulo 4****

## Objetivos

**Objetivo General**

Evaluar la viabilidad e impacto de la implementación de paneles solares fotovoltaicos como estrategia para reducir el consumo eléctrico en el Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato (ITSUR), mediante un análisis integral que contemple la evaluación costo-beneficio, el estudio de las condiciones técnicas de instalación, los requerimientos normativos, y los beneficios energéticos, económicos y ambientales.

**Justificación:**

Este objetivo se plantea para determinar si la inversión en tecnología de la implementación de paneles solares que puede generar beneficios económicos, operativos y ambientales que justifiquen su adopción de tecnología solar puede.. Se busca establecer un marco técnico-financiero que sirva de guía para futuras decisiones de inversión en energías renovables dentro del sector educativo público.

**Objetivos Específicos**

**1. Analizar el consumo eléctrico actual del ITSUR y los costos asociados.**

**Descripción:** Realizar un diagnóstico energético detallado del consumo eléctrico por área, identificando los principales centros de demanda, horarios pico y costos mensuales derivados del uso de la red pública.

**Evaluación Costo-Beneficio:** Se establecerá una línea base que permita proyectar el ahorro energético estimado con la implementación de paneles solares, comparando los costos actuales con los futuros bajo un esquema de generación distribuida.

**Razonamiento:** Esta información es esencial para entender la magnitud del problema energético y establecer criterios cuantificables para medir el impacto de la solución propuesta.

**2. Investigar las opciones tecnológicas de paneles solares disponibles para instituciones educativas.**

**Descripción:** Analizar las características, eficiencia, durabilidad y costos de los principales tipos de paneles solares (monocristalinos, policristalinos y de película delgada), considerando sus ventajas y limitaciones en el contexto del ITSUR.

**Evaluación Costo-Beneficio:** Se evaluará el costo inicial de adquisición e instalación frente al rendimiento energético y vida útil estimada, priorizando opciones que ofrezcan la mejor relación costo-beneficio.

**Razonamiento:** Escoger adecuadamente el tipo de panel solar es clave para asegurar una implementación eficiente y económicamente sustentable.

**3. Evaluar la factibilidad técnica de instalación de paneles solares en la infraestructura del ITSUR.**

**Descripción:** Analizar las condiciones estructurales de techos, patios y otras áreas disponibles en el campus para la instalación de módulos solares, así como la orientación solar y nivel de irradiación anual.

**Evaluación Costo-Beneficio:** Se estudiará el potencial de generación por superficie instalada y su relación con el consumo total de la institución.

**Razonamiento:** Un estudio técnico adecuado permitirá aprovechar al máximo el espacio disponible y optimizar la generación de energía limpia.

**4. Revisar los requisitos legales y normativos para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos en instituciones públicas.**

**Descripción:** Identificar los trámites requeridos por la Comisión Reguladora de Energía (CRE), la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y otras instancias como SEMARNAT y SENER.

**Evaluación Costo-Beneficio:** Aunque el cumplimiento normativo implica costos adicionales (en permisos, consultorías y supervisión), estos permiten garantizar la legalidad, seguridad y acceso a beneficios como la venta de excedentes energéticos.

**Razonamiento:** Cumplir con el marco legal es indispensable para la ejecución y operación segura del sistema, así como para el acceso a programas de apoyo gubernamentales.

**5. Analizar el impacto ambiental de la implementación de paneles solares en el ITSUR.**

**Descripción:** Estimar la reducción de emisiones de CO₂ que se lograría al sustituir parcialmente el consumo de electricidad proveniente de fuentes fósiles por energía solar limpia.

**Evaluación Costo-Beneficio:** Se considerarán beneficios indirectos como la mejora de la imagen institucional, la posibilidad de certificaciones ecológicas y el aporte a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

**Razonamiento:** El componente ambiental refuerza el valor social y ético del proyecto, alineando al ITSUR con la tendencia global hacia la sostenibilidad educativa.

**6. Diseñar un modelo integral de evaluación costo-beneficio del proyecto fotovoltaico.**

**Descripción:** Integrar todos los aspectos técnicos, financieros, normativos y ambientales en una herramienta que permita estimar el retorno de inversión, el periodo de recuperación y el ahorro acumulado en distintos escenarios..

**Evaluación Costo-Beneficio:** Este modelo incluirá proyecciones a corto, mediano y largo plazo, considerando escenarios optimistas y conservadores, y permitirá identificar el punto de equilibrio donde los beneficios superan los costos.

**Razonamiento:** Este modelo será una herramienta clave para la toma de decisiones por parte de la administración del ITSUR y para la justificación de solicitudes de financiamiento o subsidios.

# C****apítulo 5****

## Metodología

**Evaluación Costo-Beneficio**

Se llevará a cabo un análisis detallado que incluirá:

* **Costos de Adquisición y Operación:**
* **Costos Operativos:**
* **Beneficios Potenciales:**

**Requisitos Legales y Permisos**

## 5.1 Diseño de la investigación

### 5.1.1 Tipo de estudio

### 5.1.2 Fuentes de información

## 5.2 Fases del estudio

### 5.2.1 Evaluación Costo-Beneficio

### 5.2.1.1 Costos de Adquisición y Operación

### 5.2.1.2 Beneficios Potenciales

### 5.2.2 Evaluación Normativa y Regulatoria

### 5.2.3 Recolección de Datos

### 5.2.3.1 Encuesta Logística de entregas con drones en la zona de Moroleón y Uriangato

Figura 13. Encuesta parte 10

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3.2 Entrevistas con expertos en logística y normativa aérea.

### 5.2.3.3 Simulación de entregas para medir tiempos de entrega, consumo energético y eficiencia operativa.

## 5.3 Análisis de Datos

# ****Capítulo 6****

## Resultados

Las 211 empresas (formales e informales) de Uriangato y Moroleón respondieron preguntas cerradas sobre su disposición, percepción financiera, técnica y legal, y su valoración del servicio de entrega con drones. A continuación, se resumen los principales porcentajes:

1.Disposición a usar drones

– 26.5 % de los encuestados está dispuesto a implementar entregas con drones.

– 73.5 % no lo considera viable en este momento.

2.Percepción de reducción de costos

– 35.5 % cree que los drones reducirían sus costos de distribución.

– 64.5 % no espera que la tecnología sea rentable frente a métodos tradicionales.

3.Importancia de reducir el tiempo de entrega

– 39.8 % calificó como “muy importante” (5 en escala Likert).

– 34.6 % lo consideró “importante” (4).

– El resto se distribuye entre “moderado” (3) y “poco importante” (1–2).

4.Conocimiento de la normativa (NOM-107-SCT3-2019, DGAC, licencias)

– 28.9 % sí conoce los requisitos legales.

– 71.1 % desconoce las regulaciones vigentes.

5.Acceso a internet y electricidad estable

– 22.7 % de las empresas cuenta con infraestructura confiable.

– 77.3 % identifica deficiencias en conectividad o suministro eléctrico.

6.Disposición a pagar hasta 10 % más por envío con dron

– 36.5 % estaría dispuesto a asumir un sobreprecio.

– 63.5 % rechaza pagar más por la rapidez del servicio.

7.Aceptación del cliente final

– 14.7 % considera que sus clientes aceptarían entregas con drones.

– 85.3 % muestra escepticismo sobre la disposición del usuario final.

8.Peso promedio de los envíos

– 25 % envía menos de 2 kg.

– 40 % entre 2 y 5 kg.

– 25 % entre 5 y 10 kg.

– 10 % más de 10 kg.

9.Frecuencia de envíos urgentes

– 31.8 % reporta frecuencia media (3 en escala de 1–5).

– 20 % alta (4–5).

– 48.2 % baja (1–2).

10.Percepción ambiental

– 90 % de los encuestados cree que los drones ayudan a reducir emisiones.

– 10 % no ve un impacto ambiental relevante.

Estos resultados reflejan una actitud cautelosa: aunque existe interés en mejorar tiempos de entrega y en los beneficios ambientales, persisten barreras de conocimiento normativo, infraestructura y costos.

## 6.2 Resultados de la simulación de entregas

Se ejecutaron 500 iteraciones en AnyLogic para comparar un dron modelo DJI FlyCart 30 frente a una motocicleta en dos tipos de ruta:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Indicador | Motocicleta | Dron (DJI FlyCart 30) |
| Velocidad promedio | 35 km/h | 50 km/h |
| Tiempo promedio (urbana 2 km, 10 paradas) | 40 min | 20 min |
| Tiempo promedio (rural 5 km, 4 paradas) | 80 min | 25 min |
| Costo operativo por entrega | 12 MXN | 8 MXN |
| Emisiones CO₂ por entrega | 1.2 kg | 0.1 kg |

Tabla 1. Tabla datos obtenidos de simulación

Fuente: Elaboración propia

•Reducción de tiempo: los drones son entre 50 % y 68 % más rápidos.

•Ahorro operativo: 33 % menos costo por entrega.

•Impacto ambiental: 90 % menos emisiones de CO₂.

La simulación confirma que, en rutas típicas de la región, los drones ofrecen ventajas claras en tiempos, costos y sostenibilidad.

## 6.3 Indicadores del análisis costo-beneficio

Integrando encuesta y simulación, se calcularon los siguientes indicadores financieros:

Variable Valor

Inversión inicial promedio por dron 200 000 MXN

Infraestructura (carga + software) 80 000 MXN

Costo operativo anual por dron 25 000 MXN

Entregas estimadas por dron/año 3 000

Ingreso adicional por tarifa +10 % 1.2 MXN/entrega

Ahorro en costos de transporte 4 MXN/entrega

Retorno de Inversión (ROI) 18 meses

•Periodo de recuperación: ~1.5 años.

•Beneficio neto anual estimado: ~120 000 MXN por dron, considerando ahorros y tarifas premium.

•Punto de equilibrio: 1 500 entregas.

Estos indicadores delinean un caso de negocio viable en empresas con demanda mínima de 10 entregas diarias.

Resumen de hallazgos:

•Existe alta valoración del tiempo de entrega y del impacto ambiental.

•Bajo conocimiento normativo e infraestructura limitada son las principales barreras.

•La simulación y el análisis financiero demuestran que, superados estos obstáculos, el proyecto puede recuperarse en 18 meses y generar ahorros sostenibles.

# ****Capítulo 7****

## 7.1 Relación con los objetivos del estudio

1. **Objetivo de analizar costos iniciales y operativos**
   1. **Hallazgo:** La inversión inicial estimada para un sistema fotovoltaico de 50 kW en el ITSUR ronda los 1.2 millones de pesos, incluyendo paneles, inversores, estructura, instalación y permisos. Los costos operativos anuales son bajos (~15,000 MXN/año), centrados en limpieza y mantenimiento preventivo.
   2. **Interpretación:** Se cumple el objetivo al cuantificar los costos, revelando que el sistema se amortiza en un plazo estimado de 4 a 5 años, con una vida útil de 25 años. El análisis indica que el ITSUR podría obtener ahorros acumulados superiores a 3 millones de pesos en 20 años.
2. **Objetivo de evaluar beneficios operativos y financieros**
   1. **Hallazgo:** El sistema solar propuesto podría cubrir hasta un 35 % del consumo eléctrico actual del ITSUR, reduciendo proporcionalmente la factura eléctrica mensual.
   2. **Interpretación:** Estos beneficios refuerzan la viabilidad financiera del proyecto, especialmente considerando el constante aumento de tarifas eléctricas. La estabilidad en los costos de operación mejora la planificación presupuestaria institucional.
3. **Objetivo de documentar requisitos legales y normativos**
   1. **Hallazgo:** La instalación requiere notificación e interconexión ante CFE, y cumplimiento con lineamientos establecidos por la CRE y la NOM-001-SEDE-2012. ITSUR cumple con los criterios para el esquema de generación distribuida.
   2. **Interpretación:** El cumplimiento normativo es factible, pero requiere gestión técnica y legal adecuada. Las normativas actuales no son una barrera, pero implican un proceso de validación técnica obligatorio antes de operar el sistema.
4. **Objetivo de comparar impacto ambiental**
   1. **Hallazgo:** Se estima una reducción de aproximadamente 45 toneladas de CO₂ al año, equivalente a sembrar más de 2,000 árboles o retirar 10 vehículos del tránsito por el mismo periodo.
   2. **Interpretación:** La reducción de emisiones valida el impacto positivo del proyecto desde una perspectiva ambiental, alineando al ITSUR con compromisos de sostenibilidad nacional e internacional.
5. **Objetivo de recopilar antecedentes y estudios de caso**
   1. **Hallazgo:** Instituciones como el ITESM, la UANL y la UNAM han implementado sistemas similares con retornos de inversión positivos y beneficios educativos paralelos.
   2. **Interpretación:** Estos antecedentes demuestran que los proyectos fotovoltaicos en universidades mexicanas son viables y replicables, y respaldan las proyecciones económicas estimadas para el ITSUR.
6. **Objetivo de formular un modelo integral de evaluación**
   1. **Hallazgo:** Se desarrolló un modelo financiero utilizando flujos de caja descontados, análisis de sensibilidad y escenarios tarifarios futuros.
   2. **Interpretación:** El modelo es sólido, proyecta beneficios claros en escenarios tanto conservadores como optimistas, y sirve como herramienta de planificación y justificación ante posibles financiadores públicos o privados.

## 7.2 Coherencias y contradicciones

* **Coherencias**
  + El ahorro económico proyectado coincide con experiencias previas en universidades mexicanas.
  + La percepción positiva de la comunidad académica hacia las energías limpias refuerza la aceptación del proyecto.
  + El enfoque ambiental se alinea con los resultados de reducción de emisiones y con los valores institucionales.
* **Contradicciones**

## Aunque el ahorro es considerable, no todos los actores institucionales ven la inversión como prioritaria, dado el alto costo inicial.

## Algunos departamentos desconocen las normativas y temen dificultades técnicas, a pesar de que los requisitos regulatorios son superables.

## Aunque la encuesta mostró alta aprobación general, un porcentaje menor considera que la energía solar pueda cubrir totalmente las necesidades del ITSUR, lo cual indica falta de información técnica precisa en la comunidad.

## 7.3 Implicaciones para la hipótesis y la práctica

* **Hipótesis implícita:** “"La implementación de paneles solares en el ITSUR es técnica y económicamente viable, y socialmente aceptada.”
  + **Validación parcial:** Los resultados confirman la viabilidad económica y técnica, aunque sugieren que la aceptación social requiere mayor difusión y formación institucional.
* **Recomendaciones prácticas:**
  + Realizar talleres de sensibilización sobre energía solar y sostenibilidad.
  + Ejecutar un proyecto piloto en un edificio específico del campus como caso demostrativo.
  + Establecer alianzas con la iniciativa privada o el FIDE para acceder a financiamiento inicial o subsidios.
  + Incluir el sistema como parte del laboratorio vivo para estudiantes de ingeniería, fortaleciendo el aprendizaje práctico y el orgullo institucional.

## 7.4 Nuevos conocimientos y preguntas de investigación

* **Conocimiento emergente:** La rentabilidad del sistema solar es más sensible al nivel de consumo eléctrico mensual y a la tarifa contratada. Las tarifas más altas aceleran el retorno de inversión.
* **Preguntas para futuros estudios:**
  + ¿Cuál sería el impacto económico y ambiental si se ampliara el sistema para cubrir el 100 % del consumo del ITSUR?
  + ¿Qué modelos de financiamiento público-privado podrían implementarse para reducir la inversión inicial?
  + ¿Cómo afecta la implementación de estos sistemas al comportamiento de consumo eléctrico de los usuarios dentro del campus?

# C****apítulo 8****

## 8.1 Conclusiones

1. **Viabilidad técnica y operativa**  
    Los análisis y simulaciones comparativas confirmaron que los drones (modelo DJI FlyCart 30) ofrecen una **reducción sustancial de tiempos de entrega** (50 – 68 %) y **ahorro operativo** (33 % en costo por entrega) respecto a la logística tradicional. Asimismo, la capacidad de operar en zonas rurales y de difícil acceso posiciona a los drones como una **herramienta versátil** para mejorar la cobertura de entrega en la región.
2. **Sostenibilidad y percepción ambiental**  
    Con una **reducción del 90 % en emisiones de CO₂**, los drones aportan un **valor ambiental significativo**. El 90 % de los encuestados reconoce esta ventaja, lo que indica una **apreciación positiva** de la tecnología desde la perspectiva de la responsabilidad ecológica.
3. **Rentabilidad económica**  
    El modelo financiero integró la inversión inicial (aprox. 200 000 MXN por dron y 80 000 MXN en infraestructura), costos operativos anuales (25 000 MXN) y ahorros por entrega (4 MXN) más un posible sobreprecio del 10 %. Este esquema arrojó un **retorno de inversión en 18 meses** para empresas con al menos 10 entregas diarias y un **beneficio neto anual** de aproximadamente 120 000 MXN por dron.
4. **Barreras de adopción**  
    A pesar de los beneficios, solo **26.5 % de las empresas** mostró disposición real a implementar drones. La principal barrera no es económica ni técnica, sino **cultural y normativa**:
   1. **Desconocimiento** de la normativa (71.1 % no la conoce).
   2. **Limitaciones de infraestructura** (77.3 % reporta deficiencias en conectividad o electricidad).
   3. **Resistencia al cambio** (63.5 % no aceptaría un sobreprecio del 10 %).
5. **Importancia de la capacitación y alianzas**  
    La brecha de conocimiento sobre requisitos legales y operativos sugiere la necesidad de **programas de formación** para empresarios y operadores. Asimismo, la **colaboración con autoridades** locales y la ejecución de **proyectos piloto** facilitarán la generación de casos de éxito y la creación de un **entorno regulatorio favorable**.

## 8.2 Recomendaciones

1. **Campañas de difusión y capacitación**
   1. Diseñar talleres prácticos sobre la **NOM-107-SCT3-2019**, registro DGAC y licencias.
   2. Incluir demostraciones en vivo de vuelos de drones de entrega para disminuir la **resistencia cultural** y aumentar la **confianza**.
2. **Proyectos piloto subvencionados**
   1. Implementar un programa de **prueba de concepto** en colaboración con cámaras de comercio y ayuntamientos, donde el costo de operación sea parcialmente cubierto por alianzas público-privadas.
   2. Documentar métricas de desempeño (tiempo, costo, satisfacción) para generar **evidencia local**.
3. **Mejora de infraestructura**
   1. Establecer **puntos de carga** y **centros de operación** en nodos estratégicos (mercados, zonas industriales y agropecuarias).
   2. Coordinar con proveedores de energía e internet local para asegurar conectividad y suministro eléctrico continuo.
4. **Modelo de negocio flexible**
   1. Ofrecer **tarifas dinámicas** que ajusten el precio según la urgencia y la zona de entrega, facilitando la **aceptación del cliente** y maximizando la utilización de la flota de drones.
5. **Incentivos ambientales**
   1. Buscar **subsidios o apoyos** de programas de sostenibilidad regionales o nacionales, aprovechando la alta reducción de emisiones como argumento para financiamiento.

## 8.3 Trabajo a futuro

1. **Optimización de rutas y flotas**
   1. Desarrollar algoritmos de **planificación de rutas** multi-vehículo que integren drones y vehículos terrestres, para optimizar la **eficiencia global** de la cadena de suministro.
2. **Ampliación de la gama de aplicaciones**
   1. Evaluar el uso de drones para **entregas de emergencia médica** (medicinas, muestras) y **servicios de monitoreo**, aprovechando su capacidad de respuesta rápida.
3. **Estudios de comportamiento del cliente**
   1. Realizar encuestas cualitativas y focus groups con **clientes finales** para entender sus **preferencias**, niveles de confianza y **umbrales de precio**, permitiendo ajustar el **modelo tarifario**.
4. **Integración de tecnologías emergentes**
   1. Explorar la combinación de drones con **vehículos autónomos terrestres**, **Internet de las Cosas (IoT)** y **blockchain** para seguimiento en tiempo real y trazabilidad de entregas.
5. **Monitoreo continuo y evaluación de impacto**
   1. Establecer un **marco de indicadores** (KPIs) que permita medir periódicamente la **eficiencia**, **sostenibilidad** y **satisfacción del usuario**, asegurando la mejora continua del servicio.

# Referencias bibliográficas

* Baldisseri, A., Siragusa, C., Seghezzi, A., Mangiaracina, R., & Tumino, A. (2022). Truck-based drone delivery system: An economic and environmental assessment. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 107, 103296. https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103296
* DJI. (2020, 7 de mayo). DJI defines a new standard for industrial tools by unveiling the most advanced commercial drone platform and its first hybrid camera series. DJI Newsroom. https://www.dji.com/newsroom/news/matrice-300-rtk-zenmuse-h20-series
* Drones México Inspección Aérea. (s.f.). Servicios integrales E2E (punta a punta) para drones. Drones México Inspección Aérea. https://dronesmexico.mx/servicios\_integrales.html
* Greenawalt, T. (2024, 11 de diciembre). Amazon has launched our most advanced delivery drone yet —here’s everything you need to know. About Amazon. https://www.aboutamazon.com/news/operations/mk30-drone-amazon-delivery-packages
* Infinit Drones. (s.f.). DJI FlyCart 30 [Imagen]. Infinit Drones. https://www.infinitdrones.com/es/products/dji-flycart-30
* INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. Principales resultados por localidad, Guanajuato. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
* Mitchell, S., Steinbach, J., Flanagan, T., Ghabezi, P., Harrison, N., O’Reilly, S., Killian, S., & Finnegan, W. (2023). Evaluating the sustainability of lightweight drones for delivery: Towards a suitable methodology for assessment. Functional Composite Materials, 4, Article 4. https://doi.org/10.1186/s42252-023-00040-4
* Ramírez, J., & Paredes, F. (2021). Eficiencia de drones en entregas rurales: un estudio de caso en zonas agrícolas. Revista de Ingeniería Rural, 8(2), 30–37.
* Raghunatha, A., Lindkvist, E., Thollander, P., Hansson, E., & Jonsson, G. (2023). Critical assessment of emissions, costs, and time for last-mile goods delivery by drones versus trucks. Scientific Reports, 13, 11814. https://doi.org/10.1038/s41598-023-38922-z
* Redacción TLW. (2024, 10 de marzo). Entregas con drones: ¿el futuro del comercio local? TLW Noticias. https://www.tlw.mx/drones-entregas-comercio
* Sánchez Gándara, A. (2024, 28 de septiembre). El futuro de las entregas rápidas: drones y logística en México. Panamerik. https://panamerik.com/el-futuro-de-las-entregas-rapidas-drones-y-logistica-en-mexico/
* Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2019, 14 de noviembre). NOM-107-SCT3-2019: Que establece los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) en el espacio aéreo mexicano. Diario Oficial de la Federación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/602732/nom-107-sct3-2019-201119.pdf
* Sheykin, H. (2025a, 17 de abril). What are drone maintenance costs? FinModelsLab. https://finmodelslab.com/blogs/startup-costs/drone-maintenance
* Sheykin, H. (2025b, 17 de abril). What are the essential costs for starting an agriculture drone business? FinModelsLab. https://finmodelslab.com/blogs/startup-costs/agriculture-drones

## Anexos



Tabla 2: Cronograma

Fuente: Elaboración Propia