



Proyecto Final De Inteligencia Artificial

Nivel Básico

Plataforma Inteligente para el Diseño Personalizado de Microrredes Híbridas en
Zonas No Interconectadas de Colombia

Grupo 23

Miguel Ángel Jiménez Zuluaga

Lizeth Quevedo Narvaez

Enlace de acceso a repositorio

https://github.com/Miguel-Jimenez98/proyecto_final





Talento Tech2

Bootcamp Inteligencia Artificial (IA)

Explorador

Tutores:

Jheyson Eduardo Galvis Valencia – Ejecutor Técnico de Inteligencia Artificial

Emmanuel Jacob Mejía Buriticá - Monitor

Magnolia Cardozo Hernández – Mentor

Angie Milena López Perilla – Ejecutor de Inglés

Rosalba Cocuy López – Ejecutor de Habilidades de Poder

Universidad de Antioquia, Universidad de Caldas

2025





INTELIGENCIA ARTIFICIAL



Explorador



1 Tabla de contenido

2	Resumen.....	1
3	Introducción	2
4	Justificación	4
5	Objetivos	5
5.1	Objetivo General	5
5.2	Objetivos específicos	5
6	Marco teórico	6
6.1	IA aplicada al diseño energético	6
6.2	Transición energética justa (TEJ)	6
6.3	Potencial de microrredes híbridas en zonas rurales	7
7	Limitaciones del Proyecto.....	8
8	Metodología	9
8.1	Etapas de Desarrollo.....	9
8.2	Herramientas	10
9	Componentes del Sistema	10
9.1	Backend.....	10
9.2	Frontend	10
9.3	Chatbot.....	11
9.4	Simulador.....	11
10	Análisis Exploratorio de Datos (EDA)	11
11	Resultados Esperados.....	12
12	Conclusiones	15
13	Referencias Bibliográficas	17



VIVE LA EXPERIENCIA

TALENTO TECH



2 Resumen

Este proyecto desarrolla una plataforma digital inteligente para el diseño personalizado de microredes híbridas en las Zonas No Interconectadas (ZNI) de Colombia, donde el acceso a la energía eléctrica sigue siendo limitado. La solución integra un asistente conversacional (chatbot) y un motor de simulación técnica, combinando información local sobre recursos renovables con variables ambientales, logísticas y de consumo energético.

La plataforma, construida con tecnologías como FastAPI, Python y procesamiento de lenguaje natural, permite a usuarios sin conocimientos técnicos recibir recomendaciones automatizadas sobre configuraciones energéticas sostenibles, basadas en la combinación de energía solar, eólica, diésel y pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH). Se utiliza un enfoque basado en reglas y análisis semántico para interpretar preguntas del usuario, identificar la zona geográfica, tipo de instalación y necesidades energéticas, y entregar respuestas técnicas claras.

Además del chatbot, el sistema incluye un simulador energético simplificado que considera condiciones climáticas, caudal de río, velocidad del viento, acceso logístico, tipo de clima y demanda proyectada, para sugerir combinaciones óptimas de tecnologías. También ofrece visualización gráfica de los resultados y mensajes explicativos adaptados al contexto de cada zona.

Este desarrollo contribuye a la democratización del acceso a energía limpia, fortalece la capacidad de planificación en territorios aislados y respalda los objetivos nacionales de transición energética justa. Demuestra cómo la Inteligencia Artificial puede ser aplicada de forma responsable para cerrar brechas estructurales de acceso a servicios básicos en comunidades vulnerables de Colombia.



3 Introducción

A pesar de los avances en cobertura eléctrica, en la actualidad persiste un porcentaje de la población colombiana sin acceso pleno y continuo a la electricidad, concentrado principalmente en las Zonas No Interconectadas (ZNI) del país. Las ZNI cubren más del 50% del territorio nacional pero alojan apenas ~4% de la población, dada su baja densidad poblacional y aislamiento geográfico (**Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2022**). En estas regiones apartadas, aproximadamente 450 mil usuarios (hogares, escuelas u otras instalaciones) carecen de servicio eléctrico alguno, mientras otros ~250 mil cuentan con suministro limitado a través de pequeñas redes locales o soluciones aisladas (**Ministerio de Minas y Energía, 2023**). Esta desigualdad evidencia un pendiente crítico: garantizar energía eléctrica 24/7 a todas las comunidades colombianas, sin dejar a nadie atrás, tal como lo propugna el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 de la ONU (**Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2021**).

Las microrredes surgen como una solución viable para llevar electricidad a las poblaciones desconectadas del sistema eléctrico nacional. Una microrred es un pequeño sistema eléctrico distribuido que integra diversas fuentes de energía (por ejemplo, paneles solares, aerogeneradores, generadores diésel, baterías) y las coordina mediante controles avanzados para operar de forma eficiente y segura, ya sea conectada o aislada de la red principal (**IRENA, 2020**).



Estas microrredes híbridas con renovables pueden proporcionar suministro continuo en zonas rurales donde la extensión del Sistema Interconectado Nacional (SIN) no es técnica o económicamente factible. Además, reducen la dependencia de combustibles fósiles caros y contaminantes –actualmente el diésel genera ~85% de la electricidad en las ZNI– mitigando costos logísticos que hoy deben ser subsidiados por el Estado (UPME, 2022).

En este contexto, la confluencia de las microrredes con técnicas de Inteligencia Artificial ofrece una oportunidad innovadora. La IA y herramientas afines permiten analizar múltiples variables (recurso solar/eólico local, perfiles de demanda, costos, restricciones técnicas) para diseñar sistemas óptimos adaptados a cada comunidad. Por tanto, el proyecto “Plataforma Inteligente para el Diseño Personalizado de Microrredes Híbridas en ZNI” tiene como objetivo desarrollar una plataforma computacional que asista en la planificación de microrredes, recomendando configuraciones tecnológicas y operativas óptimas para abastecer de energía a poblaciones remotas de Colombia. A continuación, se presentan la justificación de esta iniciativa, los elementos de su marco teórico y las limitaciones consideradas en su desarrollo.



4 Justificación

Garantizar el acceso a energía limpia y asequible en las zonas rurales aisladas es fundamental tanto para el desarrollo socioeconómico equitativo como para el cumplimiento de compromisos ambientales. El acceso a la electricidad impulsa mejoras en educación, salud, comunicación y productividad, actuando como motor de desarrollo rural (IEA, 2022). Sin embargo, lograr este acceso universal requiere soluciones adaptadas a contextos apartados donde las redes convencionales no llegan. El Gobierno de Colombia y organismos internacionales han enfatizado la importancia de cerrar esta brecha energética dentro de una Transición Energética Justa (TEJ), asegurando que comunidades vulnerables no queden excluidas de los beneficios de la modernización energética (UPME, 2022).

En línea con lo anterior, la planificación oficial del sector muestra una clara orientación hacia las microrredes sostenibles. El Plan Indicativo de Expansión de Cobertura Eléctrica (PIEC 2024-2028) de la UPME propone una mayor presencia de microrredes en las regiones alejadas del SIN, aprovechando recursos renovables locales y diversificando tecnologías (solar, eólica, pequeñas hidráulicas, bioenergéticas) para llevar electricidad a las zonas no atendidas (UPME, 2023).

No obstante, el diseño óptimo de una microrred para cada comunidad es un desafío multidimensional. Aquí es donde la Inteligencia Artificial aporta un valor significativo: algoritmos de optimización y aprendizaje automático pueden explorar miles de configuraciones posibles y encontrar soluciones near-óptimas que satisfagan criterios técnicos y económicos. Estudios recientes destacan que la IA tiene un potencial enorme para optimizar la gestión y diseño de microrredes, mejorando la eficiencia energética, reduciendo costos operativos e incrementando la confiabilidad del suministro (IRENA, 2021).



5 Objetivos

5.1 Objetivo General

Desarrollar una plataforma inteligente que, mediante la integración de técnicas de inteligencia artificial, facilite el análisis técnico y la propuesta personalizada de microrredes híbridas sostenibles para las Zonas No Interconectadas (ZNI) de Colombia, contribuyendo así al acceso equitativo y confiable de energía eléctrica en comunidades rurales aisladas.

5.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar las condiciones técnicas, geográficas y de consumo energético en las Zonas No Interconectadas mediante una base de datos enriquecida con información ambiental y social.
- Implementar un chatbot con lógica semántica y reglas contextuales para responder consultas sobre energía, tecnologías y recomendaciones para cada zona.
- Diseñar un motor de simulación simplificado que permita generar configuraciones óptimas de microrredes híbridas adaptadas a cada contexto local.
- Visualizar los resultados del simulador mediante gráficos e indicadores comprensibles para usuarios no técnicos.
- Validar el funcionamiento de la plataforma mediante pruebas de casos hipotéticos y revisión de coherencia en respuestas del chatbot y del motor técnico.



6 Marco teórico

6.1 IA aplicada al diseño energético

La Inteligencia Artificial (IA) se ha convertido en una herramienta clave para resolver problemas complejos de planificación y operación en el sector energético. Las redes eléctricas modernas evolucionan hacia sistemas inteligentes (smart grids), que integran control automático, análisis de datos y algoritmos avanzados para gestionar la generación distribuida y la demanda energética (IRENA, 2021).

Técnicas como el aprendizaje automático, algoritmos evolutivos y sistemas expertos permiten tareas como el pronóstico de generación renovable, el mantenimiento predictivo, y el diseño óptimo de configuraciones energéticas. En el caso de las microrredes híbridas, la IA permite modelar escenarios de múltiples criterios (costos, confiabilidad, emisiones), dimensionando adecuadamente paneles solares, turbinas eólicas, baterías y generadores de respaldo (Arxiv.org, 2022).

La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) destaca que integrar IA en el pronóstico de energías renovables puede mejorar su precisión hasta en un 30%, disminuyendo costos operativos. Además, facilita una mejor gestión del despacho energético y un mayor aprovechamiento de recursos locales.

6.2 Transición energética justa (TEJ)

La TEJ busca transformar el sistema energético global hacia fuentes limpias, pero considerando la equidad social y ambiental. En Colombia, esto implica llevar energía renovable a las comunidades históricamente excluidas, como las ubicadas en ZNI (DNP, 2023). La transición



no se limita a sustituir fuentes fósiles por renovables, sino a garantizar que las poblaciones marginadas participen y se beneficien de esa transformación.

El proyecto de microredes híbridas contribuye a este enfoque al descentralizar la producción energética, reducir la dependencia del diésel y empoderar a las comunidades para gestionar sus propios recursos. La justicia tarifaria también se ve beneficiada al reducir los elevados costos de generación en sitios que hoy requieren subsidios estatales.

6.3 Potencial de microredes híbridas en zonas rurales

Las microredes híbridas combinan fuentes renovables (solar, eólica, PCH, biomasa) con baterías o respaldo diésel, optimizando el suministro en zonas aisladas. Su diseño flexible permite operar de forma autónoma o conectarse al sistema nacional cuando sea posible **(OPS Colombia, 2021)**.

El potencial técnico en Colombia es significativo: irradiación solar promedio superior al promedio mundial, vientos utilizables en La Guajira, y caudales disponibles para pequeñas hidroeléctricas. Adicionalmente, los costos decrecientes de tecnologías renovables (paneles, baterías) han hecho que las microredes sean competitivas frente a las soluciones tradicionales **(OECD, 2022)**.

Este tipo de soluciones ya se han implementado exitosamente en zonas como Providencia, Amazonas y el Pacífico colombiano, demostrando viabilidad técnica, ambiental y social.

7 Limitaciones del Proyecto

Si bien las microrredes inteligentes ofrecen grandes promesas, el presente proyecto enfrenta varias limitaciones inherentes a su alcance y al contexto de desarrollo:

- **Disponibilidad y calidad de datos:** El diseño óptimo con IA requiere datos fiables sobre la demanda energética de las comunidades, el recurso solar/eólico local y el desempeño de los equipos. En las ZNI suele haber escasez de mediciones detalladas e información socio-técnica incompleta. La falta de datos robustos puede limitar la precisión de los modelos de IA desarrollados ([Arxiv.org](#), s.f.).
- **Alcance exploratorio (simulación vs. realidad):** Este proyecto se desarrolla a nivel de simulación y prueba de concepto, por lo que los resultados son de carácter teórico. No se contempla en esta fase la implementación física de la microrred diseñada. Esto implica que factores del mundo real como la logística de instalación, el mantenimiento de equipos, la aceptación social del proyecto o imprevistos operativos no están abordados plenamente y podrían impactar el desempeño real de la solución.
- **Complejidades de integración y regulatorias:** La introducción de una plataforma inteligente en entornos rurales conlleva retos de interoperabilidad con sistemas existentes y de cumplimiento normativo. Las microrredes en Colombia operan bajo regulaciones especiales en ZNI; cualquier solución propuesta debe ajustarse a la normativa vigente de la CREG y coordinaciones con entidades como IPSE. Estos aspectos regulatorios y estándares técnicos no se abordan a profundidad en el proyecto, pero en la práctica podrían restringir o modificar el diseño óptimo sugerido por la plataforma ([Arxiv.org](#), s.f.).

- **Recursos limitados y consideraciones económicas:** Al ser un proyecto de nivel exploratorio (Bootcamp), se dispone de tiempo y recursos limitados para el desarrollo. Esto impone enfoques simplificados en la modelación (por ejemplo, suponer perfiles de carga tipo o recursos promedio). Además, aunque el modelo optimice costos de infraestructura, no incorpora plenamente análisis financieros detallados como fuentes de financiación, esquemas de subsidio o modelos de negocio para la implementación real de las microrredes.

8 Metodología

8.1 Etapa de Desarrollo

- **Recolección y análisis de datos climáticos y de consumo:** Se compilaron datos relevantes de 32 zonas no interconectadas (ZNI) de Colombia, incluyendo irradiación solar, velocidad del viento, caudal hídrico, altura de salto, accesibilidad, clima y observaciones sociales o ambientales.
- **Construcción del motor de simulación:** Se desarrolló un módulo capaz de calcular requerimientos energéticos y recomendar combinaciones de tecnologías (solar, eólica, diésel, PCH), incorporando parámetros como eficiencia de equipos, pérdidas por conversión y autonomía energética (días sin recurso renovable).
- **Desarrollo backend con FastAPI:** Se estructuró una API RESTful con dos rutas principales:
 1. /chatbot: para interacción conversacional con lógica semántica.
 2. /simulador: para análisis técnico basado en parámetros del usuario.

- **Implementación del chatbot inteligente:** Se integró procesamiento de lenguaje natural (spaCy), normalización de texto (eliminación de tildes y caracteres especiales), detección semántica y reglas personalizadas por zona, perfil de usuario y condiciones técnicas.
- **Desarrollo frontend con tecnologías web:** Se utilizó HTML, CSS y JavaScript para crear una interfaz accesible. La visualización de resultados se implementó con la librería Chart.js, mostrando gráficas de barras y donuts para interpretar la propuesta energética.

8.2 Herramientas

- **Lenguaje de programación:** Python.
- **Frameworks y librerías:** FastAPI, pandas, numpy, spaCy.
- **Frontend:** HTML, CSS, JavaScript, [Chart.js](#).
- **Datos utilizados:** Datasets propios: zonas_no_interconectadas.csv y catalogo_equipos.csv, estructurados para simulación y respuesta automática.

9 Componentes del Sistema

9.1 Backend

- Estructura tipo API REST que ejecuta la lógica del simulador y chatbot.
- Capacidad de respuesta dinámica según inputs del usuario y condiciones locales.
- Permite escalar e integrar nuevas funcionalidades o conexiones con APIs externas.

9.2 Frontend

- Interfaz amigable con campos de entrada para zona, consumo y perfil de instalación.
- Presentación clara de resultados mediante gráficos interactivos.
- Accesible desde cualquier navegador sin necesidad de instalación.

9.3 Chatbot

- Funciona como asesor energético personalizado.
- Ofrece respuestas adaptadas a preguntas frecuentes, zonas específicas y perfiles de usuario.
- Utiliza detección semántica para comprender la intención del usuario y responder de manera coherente.

9.4 Simulador

- Motor que calcula las tecnologías recomendadas (solar, eólica, diésel, PCH) en función del consumo diario y condiciones técnicas de cada zona.
- Incorpora lógica de eficiencia, autonomía, pérdidas y respaldo energético.
- Permite configurar escenarios opcionales, como incluir días de autonomía.

10 Análisis Exploratorio de Datos (EDA)

- **Carga del dataset zonas_no_interconectadas.csv** : Contiene variables técnicas y ambientales por zona.
- **Validación de columnas clave:** Revisión de coherencia y completitud en campos como irradiación, viento, caudal, altura, acceso difícil, clima y observaciones.
- **Limpieza y normalización:** Se aplicaron transformaciones para homogenizar datos textuales, facilitar comparaciones y evitar errores en la lectura semántica.
- **Análisis univariado y bivariado:** Exploración de relaciones, como la correlación entre irradiación solar y potencial solar estimado, o entre viento y viabilidad eólica.
- **Creación de variables categóricas:** Clasificación de zonas por tipo de acceso, tipo de clima, y condiciones especiales reflejadas en las observaciones.



11 Resultados Esperados

- **Prototipo funcional completo:** Plataforma operativa con chatbot, simulador técnico y visualización gráfica integrada.
- **Asistente conversacional eficiente:** Responde preguntas técnicas y generales, adaptándose a zonas, perfiles y condiciones locales.
- **Acceso a recomendaciones personalizadas:** Usuarios no técnicos pueden recibir propuestas energéticas sin necesidad de conocimientos previos.
- **Visualización clara de resultados:** Mediante gráficos de barras y donuts, se facilita la comprensión de la distribución energética sugerida.
- **Base para futuras ampliaciones:** La arquitectura modular permite conexión con APIs climáticas en tiempo real y evolución hacia modelos de optimización más complejos.
- **Potencial educativo:** La plataforma puede ser usada como herramienta de divulgación en comunidades, instituciones educativas y entidades públicas interesadas en energías renovables.



INTELIGENCIA ARTIFICIAL



Explorador



Plataforma de Micredes Híbridas

Simula, diseña y aprende sobre energías limpias

Asistente Inteligente de Energía

Escribe tu pregunta aquí...

Enviar

 Preguntas frecuentes:

- ¿Qué es una microrred híbrida?
- ¿Qué es la energía azul?
- ¿Qué tipo de batería me conviene?
- ¿Cuál fuente es mejor solar o eólica?
- ¿Cómo saber si mi zona es apta para solar?
- ¿Qué tipo de instalación me recomiendas para un puesto de salud?

Diseña tu Microrred

Ubicación:

Consumo diario (kWh):


Perfil de instalación (opcional):


-- Selecciona un perfil --

☐

Incluir autonomía energética

Simular

 Ver/ocultar gráfico de Costos

 Ver/ocultar gráfico por Fuente

Resultados para La Guajira

Irradiación Solar: 6 kWh/m²/día

Velocidad del Viento: 7 m/s

Consumo Diario: 7 kWh

Información del Entorno

- Acceso Dificil: Si
- Potencial PCH: Bajo
- Tipo de Clima: Desértico
- Demanda Creciente: Si
- Observaciones: Región desértica con alto viento

Nota: Los cálculos consideran pérdidas por eficiencia del inversor (95%) y del cableado (97%).

Configuración Recomendada

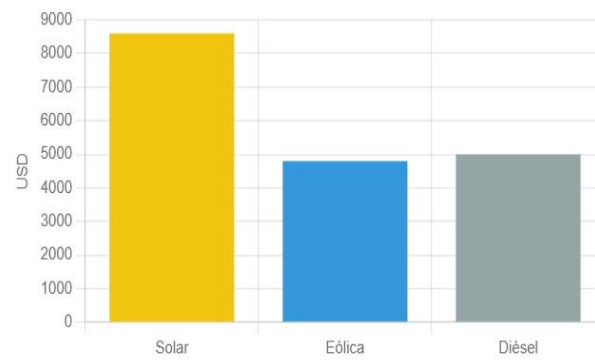
- Paneles Solares: 16
- Baterías: 10
- Turbinas Eólicas: 2
- ¿Incluir Diésel?: Si

Costos Estimados (USD)

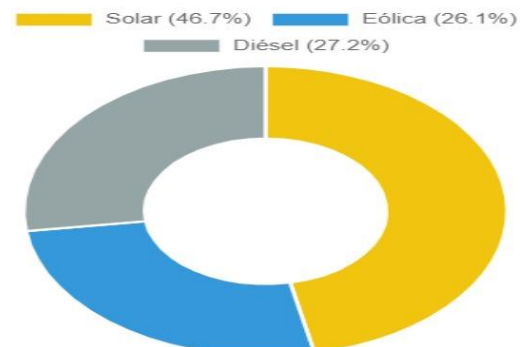
- Solar: \$8600
- Eólica: \$4800
- Diésel: \$5000
- Total: \$18400



Ver/ocultar gráfico de Costos



Ver/ocultar gráfico por Fuente





12 Conclusiones

El desarrollo de una plataforma inteligente para el diseño de microrredes híbridas en Zonas No Interconectadas (ZNI) ha permitido comprobar el valor que la inteligencia artificial puede aportar en escenarios de transición energética justa. Desde el enfoque exploratorio de este proyecto, las siguientes conclusiones pueden destacarse:

1. La IA como herramienta de democratización tecnológica: Este proyecto ha evidenciado que, mediante el uso de técnicas de procesamiento de lenguaje natural (NLP), búsqueda semántica y sistemas expertos, es posible facilitar el acceso a soluciones técnicas complejas como el diseño de microrredes, a usuarios sin conocimientos especializados. Esto contribuye a cerrar brechas de conocimiento y autonomía energética en regiones rurales.

2. Automatización e inteligencia en la toma de decisiones energéticas: El simulador y chatbot integrados permiten entregar recomendaciones personalizadas considerando variables ambientales, perfiles de usuario y restricciones técnicas. Esto demuestra cómo la IA puede asistir eficazmente en la toma de decisiones energéticas descentralizadas, alineadas con criterios de sostenibilidad y eficiencia.

3. Interoperabilidad de la IA con herramientas tradicionales: La integración de modelos de IA con tecnologías web estándar (FastAPI, pandas, Chart.js) evidencia la viabilidad técnica de combinar ciencia de datos, programación web y sistemas expertos, en plataformas accesibles para fines educativos y operativos.

4. Valor estratégico del análisis exploratorio de datos (EDA): El análisis de las condiciones climáticas, geográficas y sociales de las ZNI permitió identificar patrones clave que guían las recomendaciones energéticas. Esta etapa refuerza la importancia del análisis de datos como base para construir modelos de IA aplicables al contexto local.



5. Potencial de escalabilidad e integración futura: La arquitectura modular del sistema facilita la futura incorporación de APIs climáticas en tiempo real, bases de datos energéticas abiertas y modelos de optimización avanzados. Esto abre el camino hacia una plataforma más robusta y automatizada con aplicaciones en proyectos de transición energética a gran escala.

6. Limitaciones como oportunidades de mejora: Las restricciones de datos actualizados, la falta de simulaciones físicas y el enfoque aún prototípico del chatbot y simulador, destacan la necesidad de futuras iteraciones. Sin embargo, estas limitaciones también representan oportunidades claras para el desarrollo de una solución más precisa, confiable y socialmente útil.

13 Referencias Bibliográficas

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning. MIT Press.

IDEAM. (2018). Atlas de Radiación Solar de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IEA. (2022). World Energy Outlook 2022. International Energy Agency.
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>

IRENA. (2020). Innovation landscape brief: Artificial Intelligence for renewable energy systems. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org>

IRENA. (2021). Renewable Energy and Electricity Planning: AI-based Optimization for Microgrids. Abu Dhabi: IRENA.

Ministerio de Minas y Energía. (2022). Lineamientos de la Transición Energética Justa. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Minas y Energía. (2023). Balance de Zonas No Interconectadas en Colombia. Bogotá, Colombia.

ONU. (2021). Objetivos de Desarrollo Sostenible: Energía asequible y no contaminante. Naciones Unidas.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>

UPME. (2022). Cobertura eléctrica en zonas no interconectadas - Informe de avance. Unidad de Planeación Minero Energética.

UPME. (2023). Plan Indicativo de Expansión de Cobertura Eléctrica 2024-2028. Unidad de Planeación Minero Energética.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Explorador

