

# Descripción del desarrollo de SunScan

## Contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Metodología del Desarrollo de Sunscan.....</b>	<b>5</b>
1.1. Pipeline del modelo SunScan.....	5
1.1.1. Obtención de Imágenes Satelitales.....	5
1.1.2. Obtención de Datos Geoespaciales .....	5
1.1.2.1. OpenStreetMap .....	5
1.1.2.2. Inteligencia artificial .....	7
1.1.3. Cálculos Fotovoltaicos .....	8
1.1.4. Visualización de resultados.....	9
1.2. Librerías usadas.....	9
1.2.1. Leafmap.....	10
1.2.2. OSMnx.....	10
1.2.3. SAM – Segment geospatial.....	10
1.2.4. PVLib .....	11
1.2.5. Plotly .....	11
1.3. Estimación de la energía solar .....	11
1.3.1. Cálculo de Irradiancia Total .....	11
1.3.2. Modelado de la Ubicación Geográfica .....	13
1.3.3. Cálculo de la Posición del Sol .....	13
1.3.4. Simulación del Rendimiento del Sistema Fotovoltaico .....	14
1.3.5. Cálculo de la Potencia de Salida del Sistema.....	15
1.3.6. Generación de Energía Anual.....	15
1.4. Inputs y Outputs del Proyecto Sunscan .....	16
1.4.1. Inputs .....	16
1.4.1.1. Imágenes Satelitales.....	16
1.4.1.2. Datos Geoespaciales de OpenStreetMap.....	16

1.4.1.3.	Datos Meteorológicos .....	16
1.4.1.4.	Parámetros del Sistema Fotovoltaico .....	17
1.4.1.5.	Datos de Ubicación Geográfica .....	17
1.4.2.	Outputs.....	17
1.4.2.1.	Mapas de Irradiancia Solar.....	17
1.4.2.2.	Simulaciones de Rendimiento del Sistema Fotovoltaico.....	17
1.4.2.3.	Estimaciones de Producción de Energía Anual .....	18
1.4.2.4.	Análisis de Costos y Beneficios .....	18
1.4.2.5.	Visualizaciones y Reportes Interactivos .....	18
2.	Comparación con métodos tradicionales.....	18
2.1.	Precisión y Detalle en la Evaluación .....	19
2.2.	Automatización y Eficiencia .....	19
2.3.	Análisis Espacial Avanzado .....	19
2.4.	Precisión en la segmentación .....	19
2.5.	Eficiencia en el procesamiento .....	20
2.6.	Análisis detallado .....	20
2.7.	Simulaciones de Rendimiento Realistas .....	20
2.8.	Datos Meteorológicos Complejos .....	20
2.9.	Visualización Interactiva de Resultados.....	20
2.10.	Evaluación Integral de Costos y Beneficios .....	21
2.11.	Flexibilidad y Escalabilidad .....	21
2.12.	Mejora Continua y Actualización de Datos .....	21
2.13.	Impacto en la Toma de Decisiones .....	21
3.	Pasos siguientes.....	22
3.1.	Transferencia SunScan a Infradigital - AWS .....	22
3.1.1.	Análisis y Planificación Preliminar.....	22
3.1.2.	Diseño de Arquitectura en AWS .....	22
3.1.3.	Adaptación y Refactorización del Código.....	23
3.1.4.	Implementación de la Seguridad y Cumplimiento.....	23
3.1.5.	Pruebas y Optimización .....	23
3.1.6.	Migración de Datos y Puesta en Marcha.....	24
3.1.7.	Monitoreo y Mantenimiento Continuo.....	24
3.2.	Complementar el análisis .....	24

<b>3.2.1.</b>	<b>Almacenamiento de Energía.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>Inclusión de Energía a la Red Nacional .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.3.</b>	<b>Maximizar la Generación de Energía Solar .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.4.</b>	<b>Educación y Capacitación .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.5.</b>	<b>Soluciones para Zonas Desconectadas de la Red Nacional .....</b>	<b>27</b>
<b>4.</b>	<b>Comentarios finales .....</b>	<b>28</b>
<b>5.</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>29</b>

# Introducción

El proyecto SunScan, impulsado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se centra en la evaluación del potencial solar en diversas regiones de América Latina y el Caribe. Este esfuerzo busca identificar áreas con alto potencial para la generación de energía solar, facilitando así la transición hacia fuentes de energía renovable y sostenible. La herramienta SunScan utiliza imágenes satelitales de alta resolución, algoritmos avanzados de segmentación y simulación de sistemas fotovoltaicos para proporcionar estimaciones precisas y confiables del recurso solar disponible.

Para aquellos interesados en explorar más sobre SunScan, el proyecto está disponible como código abierto en GitHub (<https://github.com/EL-BID/Sunscan>). Además, se puede acceder a un cuaderno interactivo en Google Colab (<https://colab.research.google.com/github/EL-BID/Sunscan/blob/main/notebook/SunScan.ipynb>), proporcionando una plataforma accesible para la experimentación y desarrollo de nuevas funcionalidades. Puede accederse al cuaderno aquí.

A medida que SunScan avanza, es fundamental explorar formas de complementar y mejorar el proyecto para maximizar su impacto. Las siguientes ideas se enfocan en diversos aspectos clave, como el almacenamiento de energía, la comparación de áreas, la inclusión de energía a la red nacional, la maximización de la generación de energía solar y soluciones para zonas no conectadas a la red eléctrica. Implementar estas mejoras permitirá que SunScan ofrezca soluciones más integrales y efectivas para la adopción de energía solar en la región.

La implementación de estas mejoras se puede facilitar mediante el uso de la ciencia de datos, empleando Python y plataformas como Google Colab. Estas herramientas no solo permiten el desarrollo y la prueba de modelos predictivos y algoritmos de optimización, sino que también facilitan la colaboración y el acceso a recursos computacionales avanzados. Esto asegura que SunScan siga siendo una herramienta robusta y adaptable, capaz de responder a las crecientes demandas de energía renovable.

En esta introducción, se presentarán varias propuestas para mejorar SunScan, detallando cómo la ciencia de datos y el uso de Python pueden facilitar estas mejoras. Estas propuestas abarcan desde la optimización del almacenamiento de energía hasta la capacitación de usuarios, pasando por la integración de la energía solar a la red eléctrica y el desarrollo de soluciones específicas para áreas rurales y aisladas.

# 1. Metodología del Desarrollo de Sunscan

El desarrollo del proyecto Sunscan se desarrolló con código abierto siguiendo una metodología rigurosa y sistemática, integrando diversas herramientas y bibliotecas especializadas en el análisis geoespacial, la simulación de sistemas solares y la visualización de datos. A continuación, se detalla el enfoque metodológico:

## 1.1. Pipeline del modelo SunScan

### 1.1.1. Obtención de Imágenes Satelitales

El primer paso en la metodología de Sunscan es la obtención de imágenes satelitales de alta resolución. Para ello, se usa **Leafmap**, una biblioteca de Python que facilita la interacción con Google Earth Engine. Leafmap permite descargar y visualizar imágenes satelitales, que son fundamentales para analizar el potencial solar en diversas regiones. Las imágenes obtenidas son procesadas para corregir errores y normalizar los datos, asegurando su calidad y precisión.

### 1.1.2. Obtención de Datos Geoespaciales

Hay dos maneras de obtener los datos geoespaciales de los techos de construcciones y casas. Se ha desarrollado de esta manera para aprovechar los datos que ya están disponibles en plataformas como OpenStreetMap que funcionan muy bien especialmente para las ciudades, donde además que se tienen más datos de OSM también se tiene una mayor dificultad para usar algoritmos de IA sobre áreas muy densamente construidas, donde a menudo es difícil para los algoritmos separar los diferentes techos de los edificios/casas. El segundo método se usaría para áreas donde no se cuente con datos actualizados de OSM, en este caso se usa un algoritmo de inteligencia artificial que usa segmentación semántica para obtener los datos geoespaciales de los edificios/casas, funciona mejor en áreas que no están densamente construidas y con imágenes satelitales de alta resolución.

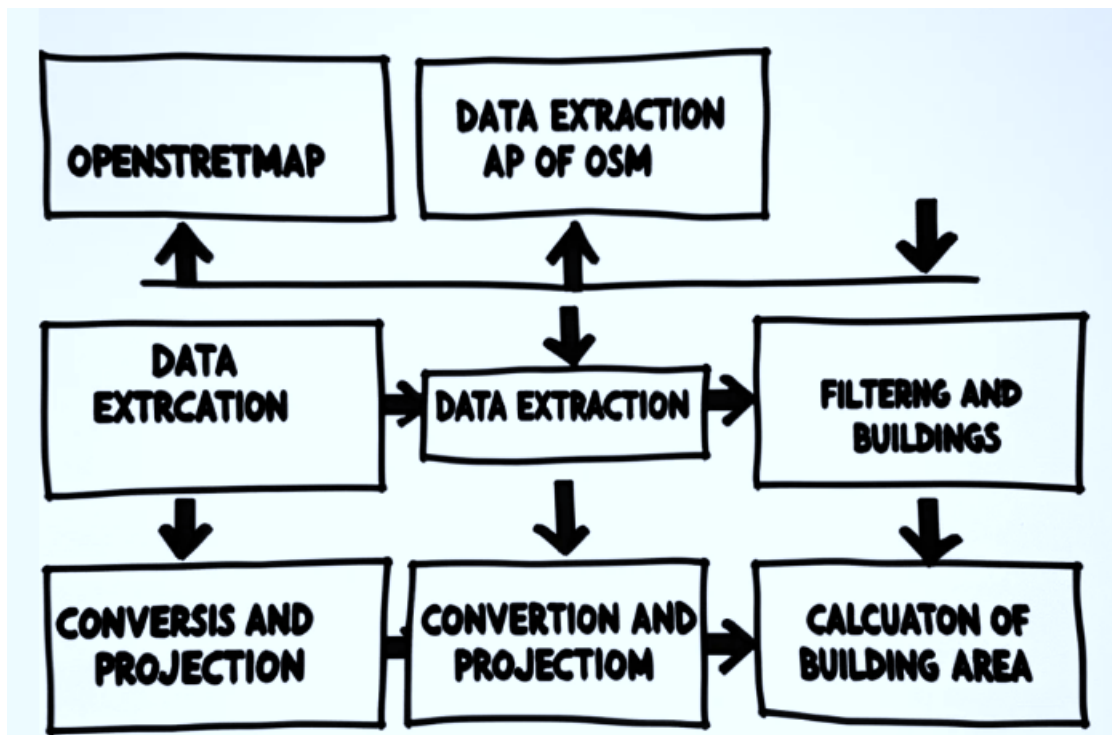
#### 1.1.2.1. OpenStreetMap

Con las imágenes satelitales preparadas, se pueden obtener datos geoespaciales detallados utilizando **OSMnx**. Esta biblioteca permite descargar y modelar datos de OpenStreetMap

siguiendo la misma área de la imagen, proporcionando información valiosa sobre la infraestructura urbana y rural, como la ubicación de edificios, los cuales serán datos esenciales para identificar áreas con potencial para la instalación de paneles solares.

OpenStreetMap (OSM) es una fuente de datos geospaciales abiertos y colaborativos que proporciona información detallada sobre características geográficas, incluyendo edificaciones, carreteras, y otras infraestructuras.

### Proceso de Obtención de Datos



#### Extracción de Datos:

- API de OSM: Se utilizan herramientas y bibliotecas específicas para extraer datos geospaciales directamente desde la API de OpenStreetMap.

#### Análisis y Filtrado:

- Filtrado de Edificaciones: Los datos extraídos se filtran para obtener únicamente las edificaciones, lo cual es crucial para identificar las áreas potenciales para la instalación de paneles solares.

#### Conversión y Proyección:

- Sistema de Coordenadas: Los datos geoespaciales se convierten a un sistema de coordenadas adecuado (por ejemplo, EPSG:4326 para coordenadas geográficas o EPSG:3395 para metros).

Área de Edificaciones:

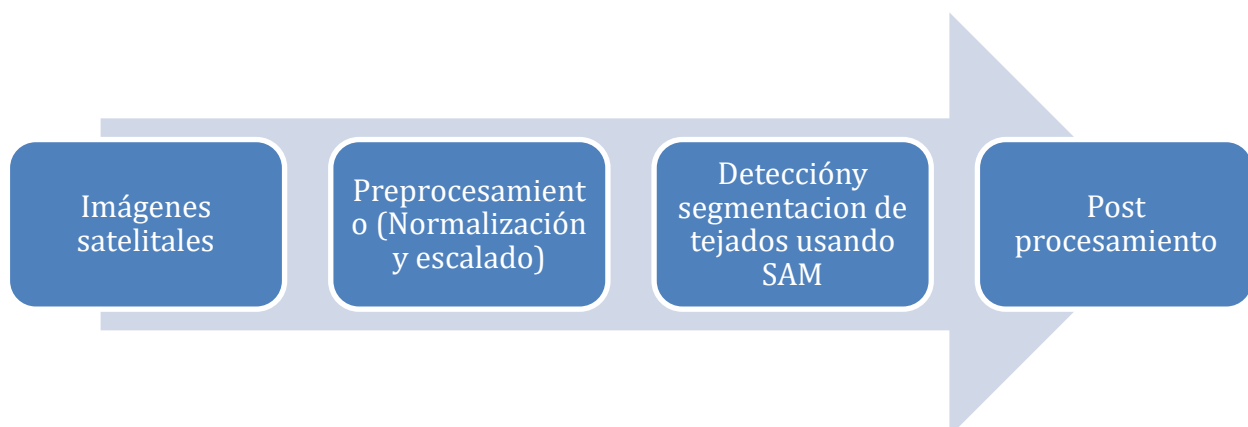
$$\text{Área} = \sum_{i=1}^n \text{Área}_{\text{edificación}_i}$$

donde  $n$  es el número total de edificaciones identificadas y  $\text{Área}_{\text{edificación}_i}$  es el área de cada edificación.

## 1.1.2.2. Inteligencia artificial

Se usa el modelo Segment anything by meta, el cuales es una herramienta avanzada de segmentación que puede utilizarse para identificar y delinear tejados en imágenes aéreas o satelitales. Para segmentar tejados utilizando Segment Anything, primero se carga la imagen correspondiente y luego se aplica el modelo de segmentación para identificar y extraer los contornos de los tejados. El proceso implica alimentar la imagen al modelo de Segment Anything, que ha sido previamente entrenado en una vasta cantidad de datos de imágenes, permitiendo así reconocer características específicas como los tejados. Una vez segmentados, los tejados pueden ser analizados para diversos propósitos, como la evaluación del potencial de instalación de paneles solares o la planificación de mantenimiento. Este tipo de segmentación precisa y automática ahorra tiempo y recursos en comparación con métodos manuales tradicionales.

### Proceso de Aplicación del modelo SAM



## Preprocesamiento de Imágenes

- Obtención de Imágenes Satelitales: Se obtienen imágenes satelitales de alta resolución de la región de interés.
- Normalización y Escalado: Las imágenes se preprocesan para ajustar la resolución y mejorar la calidad de los datos.

## Detección y Clasificación

- Aplicación del Modelo: El modelo entrenado se aplica a las imágenes satelitales para identificar y clasificar áreas adecuadas para la instalación de paneles solares.

## Postprocesamiento y Validación

- Validación de Resultados: Los resultados se validan mediante la comparación con datos conocidos y se ajustan según sea necesario.

### Fórmulas y Cálculos:

- Función de Activación ReLU:

$$\text{ReLU}(x) = \max(0, x)$$

- Función de Costo (Entropía Cruzada):

$$J = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [y_i \log(h(x_i)) + (1 - y_i) \log(1 - h(x_i))]$$

donde  $m$  es el número de ejemplos de entrenamiento,  $y_i$  es la etiqueta verdadera, y  $h(x_i)$  es la predicción del modelo.

**Nota:** El entrenamiento del modelo no es necesario porque ya fue entrenado para una gran cantidad de objetos por Meta.

## 1.1.3. Cálculos Fotovoltaicos

Para calcular simulaciones de un sistema de generación de energía solar se usa PVLib, una biblioteca de Python diseñada para realizar cálculos fotovoltaicos. PVLib permite modelar el comportamiento de los sistemas solares y calcular la irradiancia y producción de energía en



diversas condiciones. Esta herramienta facilita la realización de cálculos complejos necesarios para predecir la generación de energía de los sistemas fotovoltaicos en las áreas de estudio.

#### 8. Integración y Análisis de Datos

Los datos obtenidos de las simulaciones y cálculos se integraron y analizaron para evaluar el potencial solar de las diferentes áreas. Este análisis incluyó la comparación de la energía generada en diversas condiciones y la evaluación de los costos y beneficios económicos y ambientales de la implementación de sistemas solares. La integración de datos permitió obtener una visión holística del potencial solar disponible.

### 1.1.4. Visualización de resultados

Una parte crucial de la metodología fue la visualización de los resultados. Para ello, se utilizó Plotly, una biblioteca de Python que permite crear gráficos interactivos. Con Plotly, se generaron mapas y tablas que mostraban la distribución espacial del potencial solar y los datos de rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. Estas visualizaciones facilitaron la interpretación de los resultados y su comunicación a diversos públicos interesados.

#### 9. Exportación de Resultados

Para facilitar el uso y análisis de los resultados en futuros estudios y proyectos, se exportaron los datos en diversos formatos, como archivos Excel y shapefiles. La exportación de resultados asegura que los hallazgos del proyecto Sunscan sean accesibles y útiles para investigadores, desarrolladores, planificadores urbanos y responsables de políticas. Esta etapa es crucial para la diseminación y aplicación práctica de los resultados del proyecto.

Esta metodología detallada asegura que el proyecto Sunscan utilice de manera efectiva las herramientas y bibliotecas disponibles para proporcionar una evaluación precisa y detallada del potencial solar en diversas regiones. La integración de diversas etapas, desde la obtención de datos hasta la visualización y validación de resultados, garantiza un enfoque completo y riguroso para el análisis del recurso solar.

## 1.2. Librerías usadas

El proyecto Sunscan se desarrolló utilizando diversas librerías (open source) y funciones de Python especializadas en el análisis geoespacial, la simulación de sistemas solares y la visualización de datos. A continuación, se detallan las principales librerías utilizadas y cómo se aplicaron en el desarrollo de Sunscan.

## 1.2.1. Leafmap

Leafmap es una librería de Python que facilita la visualización y el análisis de datos geoespaciales utilizando Google Earth Engine y otros servicios de mapas.

### **Uso en Sunscan**

Leafmap se utilizó para descargar imágenes satelitales de alta resolución y visualizar datos geoespaciales en un mapa interactivo. Estas imágenes fueron esenciales para identificar áreas con potencial solar y analizar el entorno urbano y rural.

## 1.2.2. OSMnx

OSMnx es una librería de Python que permite descargar, modelar y visualizar datos de OpenStreetMap.

### **Uso en Sunscan**

OSMnx se utilizó para obtener datos detallados sobre la infraestructura urbana y rural. Estos datos incluyeron la ubicación de edificios y vías, lo cual es crucial para evaluar la disponibilidad y el potencial del recurso solar.

## 1.2.3. SAM – Segment geospatial

segment-geospatial es una biblioteca de Python diseñada para facilitar la segmentación y análisis de datos geoespaciales. Esta herramienta permite dividir grandes conjuntos de datos geoespaciales en segmentos más manejables y realizar análisis detallados en cada segmento. Es particularmente útil en el contexto de proyectos como Sunscan, donde se requiere una segmentación precisa de áreas específicas, como tejados, para evaluar su potencial solar.

### **Uso en Sunscan**

segment-geospatial se utiliza para segmentar los tejados sobre imágenes satelitales cuando la información de OSMnx no está disponible.

## 1.2.4. PVLib

PVLib es una librería de Python diseñada para realizar cálculos relacionados con la energía fotovoltaica.

### **Uso en Sunscan**

PVLib se utilizó para modelar el comportamiento de los sistemas solares y calcular la irradiancia y producción de energía en diversas condiciones. Esta herramienta facilitó la realización de cálculos complejos necesarios para predecir la generación de energía.

## 1.2.5. Plotly

Plotly es una librería de Python que permite crear gráficos interactivos.

### **Uso en Sunscan**

Plotly se utilizó para visualizar los resultados del análisis en forma de mapas y tablas interactivas. Estas visualizaciones ayudaron a interpretar y comunicar los resultados de manera clara y accesible.

Estas librerías y funciones fueron fundamentales para el desarrollo de Sunscan, permitiendo la obtención, procesamiento, segmentación, simulación y visualización de datos geoespaciales y solares de manera eficiente y precisa. La integración de estas herramientas facilitó un análisis detallado y robusto del potencial solar en diversas regiones.

## 1.3. Estimación de la energía solar

La librería PVLib se utiliza en el proyecto Sunscan para realizar varios cálculos esenciales relacionados con la energía fotovoltaica. Estos cálculos permiten modelar el comportamiento de los sistemas solares y predecir la producción de energía en diferentes condiciones. A continuación, se detalla cada uno de los cálculos realizados con PVLib en Sunscan:

### 1.3.1. Cálculo de Irradiancia Total

El cálculo de la irradiancia total en una superficie inclinada es crucial para entender la cantidad de energía solar que incide sobre los paneles solares. PVLib calcula la irradiancia total combinando tres componentes principales:

Este paso involucra la estimación de la irradiancia total (GHI, DNI, DHI) utilizando modelos meteorológicos y datos satelitales.

- **GHI (Global Horizontal Irradiance):** Es la irradiancia total que recibe una superficie horizontal. Se calcula como la suma de la irradiancia directa y difusa.

$$GHI = DNI \times \cos(\theta_z) + DHI$$

donde  $\theta_z$  es el ángulo cenital solar.

- **DNI (Direct Normal Irradiance):** Es la irradiancia solar que llega directamente del sol y es perpendicular a la superficie.

$$DNI = E_0 \times \exp\left(-\frac{\tau}{\cos(\theta_z)}\right)$$

donde  $E_0$  es la irradiancia extraterrestre y  $\tau$  es el espesor óptico atmosférico.

- **DHI (Diffuse Horizontal Irradiance):** Es la irradiancia solar difusa que se dispersa en la atmósfera.

$$DHI = GHI - DNI \times \cos(\theta_z)$$

**Nota:** El espesor óptico atmosférico ( $\tau$ ) se deriva de modelos atmosféricos y condiciones climáticas típicas. En el modelo de Ineichen utilizado en PVLib, el espesor óptico es una función de la altitud y la claridad atmosférica.

## 1.3.2. Modelado de la Ubicación Geográfica

PVLib utiliza información sobre la ubicación geográfica para mejorar la precisión de los cálculos solares. Los datos de ubicación incluyen latitud, longitud, altitud y zona horaria. Estos datos son esenciales para calcular la posición del sol en el cielo en cualquier momento del día, lo que a su vez afecta la cantidad de irradiancia que recibe un panel solar.

Utiliza las coordenadas geográficas (latitud, longitud, y altitud) del sitio para ajustar los cálculos de irradiancia solar.

Parámetros principales:

- **Latitud ( $\phi$ ) y Longitud ( $\lambda$ ):** Estas coordenadas se utilizan para calcular la posición del sol y ajustar los modelos de irradiancia.
- **Altitud ( $h$ ):** La altitud se utiliza para ajustar la presión atmosférica y, por tanto, la densidad del aire, lo cual afecta la irradiancia solar.

La irradiancia solar se ajusta según la posición geográfica, utilizando las siguientes relaciones:

$$GHI = GHI_{\text{estándar}} \times f(\text{latitud, longitud, altitud})$$

donde  $f$  es una función que ajusta la irradiancia en base a la posición.

## 1.3.3. Cálculo de la Posición del Sol

La posición del sol en el cielo se calcula en función de la fecha, la hora y la ubicación geográfica. Este cálculo incluye la determinación del ángulo de elevación solar (la altura del sol sobre el horizonte) y el ángulo de azimut solar (la dirección del sol respecto al norte). La posición del sol es fundamental para calcular la cantidad de irradiancia directa que incide sobre una superficie inclinada.

Se utiliza un algoritmo astronómico para calcular la posición del sol en el cielo en cualquier momento del día.

Parámetros principales:

- **Ángulo de elevación solar ( $\theta_e$ ):** Altura del sol sobre el horizonte.
- **Ángulo azimutal solar ( $\gamma_s$ ):** Dirección del sol desde el norte geográfico.

La posición del sol se calcula usando las siguientes relaciones astronómicas:

$$\theta_e = \arcsin(\sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \cos(h))$$

$$\gamma_s = \arctan \left( \frac{\sin(h)}{\cos(h) \sin(\phi) - \tan(\delta) \cos(\phi)} \right)$$

donde  $\phi$  es la latitud,  $\delta$  es la declinación solar, y  $h$  es el ángulo horario.

### 1.3.4. Simulación del Rendimiento del Sistema Fotovoltaico

Simula el rendimiento del sistema fotovoltaico bajo diferentes condiciones de irradiancia y temperatura.

- Irradiancia en el Plano de los Módulos (POA):

$$POA_{\text{global}} = POA_{\text{direct}} + POA_{\text{diffuse}} + POA_{\text{ground}}$$

donde:

- $POA_{\text{direct}} = DNI \times \cos(\theta_i)$
  - $POA_{\text{diffuse}}$  se calcula usando modelos de irradiancia difusa.
  - $POA_{\text{ground}}$  es la irradiancia reflejada desde el suelo.
- Temperatura del Módulo ( $T_m$ ):

$$T_m = T_{\text{air}} + \left( \frac{NOCT - 20}{800} \right) \times POA_{\text{global}}$$

donde  $T_{\text{air}}$  es la temperatura del aire y NOCT es la temperatura nominal de operación de la célula.

### 1.3.5. Cálculo de la Potencia de Salida del Sistema

Estima la potencia de salida del sistema fotovoltaico teniendo en cuenta las pérdidas por eficiencia del inversor, temperatura, y otras pérdidas del sistema.

- Potencia en el Punto de Máxima Potencia ( $P_{mp}$ ):

$$P_{mp} = I_{mp} \times V_{mp}$$

donde  $I_{mp}$  es la corriente en el punto de máxima potencia y  $V_{mp}$  es el voltaje en el punto de máxima potencia.

### 1.3.6. Generación de Energía Anual

Integra todos los cálculos anteriores para estimar la generación anual de energía del sistema fotovoltaico.

- Energía Generada ( $E$ ):

$$E = \sum_{i=1}^{365} \left( \frac{P_{mp} \times \text{area}_{\text{panel}} \times \text{area}_{\text{disp}} \times \text{efficiency}}{1000} \right)$$

donde:

- $P_{mp}$  es la potencia en el punto de máxima potencia.
- $\text{area}_{\text{panel}}$  es el área del panel solar.
- $\text{area}_{\text{disp}}$  es el porcentaje de área disponible.
- $\text{efficiency}$  es la eficiencia del sistema.

## **1.4. Inputs y Outputs del Proyecto Sunscan**

El proyecto Sunscan integra una variedad de datos de entrada (inputs) y produce una serie de resultados (outputs) que son esenciales para evaluar el potencial solar en diferentes regiones. A continuación, se describen en detalle los principales inputs y outputs del proyecto en diez párrafos.

### **1.4.1. Inputs**

#### **1.4.1.1. Imágenes Satelitales**

Uno de los inputs más importantes en Sunscan son las imágenes satelitales de alta resolución obtenidas a través de Leafmap y Google Earth Engine. Estas imágenes proporcionan información detallada sobre la superficie terrestre, incluyendo la ubicación de edificios, vegetación y otras características del terreno. Las imágenes satelitales son fundamentales para identificar áreas adecuadas para la instalación de paneles solares.

#### **1.4.1.2. Datos Geoespaciales de OpenStreetMap**

Sunscan utiliza datos geoespaciales de OpenStreetMap (OSM) obtenidos mediante la biblioteca OSMnx. Estos datos incluyen la infraestructura urbana y rural, como la ubicación de edificios, carreteras y otros elementos del entorno. La información geoespacial es crucial para modelar el entorno y evaluar cómo las sombras y la orientación de las superficies afectan la captación de energía solar.

#### **1.4.1.3. Datos Meteorológicos**

Los datos meteorológicos son otro input esencial en Sunscan. Estos datos incluyen información sobre la irradiancia solar, la temperatura, la nubosidad y otros factores climáticos que afectan la cantidad de energía solar disponible. Los datos meteorológicos se utilizan para realizar cálculos precisos de la irradiancia total y simular el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos bajo diversas condiciones climáticas.



### **1.4.1.4. Parámetros del Sistema Fotovoltaico**

Sunscan también requiere inputs relacionados con las características del sistema fotovoltaico, como la eficiencia de los módulos solares, la inclinación y orientación de los paneles, y la capacidad del inversor. Estos parámetros son necesarios para modelar y simular el rendimiento del sistema solar de manera precisa.

### **1.4.1.5. Datos de Ubicación Geográfica**

Los datos de ubicación geográfica, incluyendo la latitud, longitud, altitud y zona horaria de la región de estudio, son inputs críticos para calcular la posición del sol en el cielo en cualquier momento del día. Estos datos permiten ajustar los cálculos de irradiancia y simular el rendimiento del sistema fotovoltaico con mayor precisión.

## **1.4.2. Outputs**

### **1.4.2.1. Mapas de Irradiancia Solar**

Uno de los outputs principales de Sunscan son los mapas de irradiancia solar, que muestran la cantidad de energía solar que llega a diferentes superficies en la región de estudio. Estos mapas se generan utilizando los datos de irradiancia total calculados y permiten identificar las áreas con mayor potencial solar.

### **1.4.2.2. Simulaciones de Rendimiento del Sistema Fotovoltaico**

Sunscan produce simulaciones detalladas del rendimiento de los sistemas fotovoltaicos en diversas condiciones. Estas simulaciones incluyen estimaciones de la potencia de salida del sistema en diferentes momentos del día y bajo diversas condiciones climáticas. Los resultados de las simulaciones ayudan a evaluar la viabilidad y eficiencia de los sistemas solares en diferentes ubicaciones.

### **1.4.2.3. Estimaciones de Producción de Energía Anual**

Otro output crucial de Sunscan son las estimaciones de producción de energía anual. Estas estimaciones se basan en las simulaciones de rendimiento del sistema fotovoltaico a lo largo de un año completo, considerando las variaciones estacionales en la irradiancia solar y las condiciones climáticas. La producción de energía anual se expresa en kilovatios-hora (kWh) y proporciona una visión a largo plazo del rendimiento del sistema solar.

### **1.4.2.4. Análisis de Costos y Beneficios**

Sunscan también produce análisis detallados de los costos y beneficios asociados con la implementación de sistemas fotovoltaicos. Estos análisis incluyen la evaluación de los costos de instalación, operación y mantenimiento, así como los ahorros económicos y los beneficios ambientales derivados de la generación de energía solar. Los resultados de estos análisis son esenciales para tomar decisiones informadas sobre la inversión en tecnologías solares.

### **1.4.2.5. Visualizaciones y Reportes Interactivos**

Finalmente, Sunscan genera visualizaciones y reportes interactivos que resumen los resultados del análisis de manera clara y accesible. Estas visualizaciones incluyen gráficos y tablas que muestran la distribución espacial del potencial solar, el rendimiento del sistema fotovoltaico y los beneficios económicos y ambientales. Los reportes interactivos facilitan la interpretación de los datos y su comunicación a diversos públicos interesados, desde investigadores y desarrolladores hasta responsables de políticas y planificadores urbanos.

En resumen, los inputs y outputs de Sunscan abarcan una amplia gama de datos y resultados que son esenciales para evaluar el potencial solar y diseñar sistemas fotovoltaicos eficientes. La integración de estos inputs y outputs en el proceso de análisis asegura una evaluación precisa y completa del recurso solar disponible en diferentes regiones.

## **2.Comparación con métodos tradicionales**

El proyecto Sunscan ofrece una serie de beneficios significativos en comparación con los métodos tradicionales de estimar la energía solar sobre tejados. Estos beneficios se derivan del uso de tecnologías avanzadas y herramientas de análisis que permiten una evaluación más precisa, eficiente y detallada del potencial solar. A continuación, se describen los principales beneficios de Sunscan frente a los métodos tradicionales.

## **2.1. Precisión y Detalle en la Evaluación**

Sunscan utiliza imágenes satelitales de alta resolución y datos geoespaciales detallados para evaluar el potencial solar. Esto permite una identificación precisa de las características de los tejados, como la inclinación, orientación y sombra proyectada por otros edificios. En contraste, los métodos tradicionales a menudo se basan en estimaciones generales y datos menos detallados, lo que puede llevar a resultados menos precisos.

## **2.2. Automatización y Eficiencia**

Sunscan automatiza muchos de los procesos de obtención y análisis de datos, utilizando herramientas como Leafmap para descargar imágenes satelitales y OSMnx para obtener datos de infraestructura urbana. Esta automatización reduce significativamente el tiempo y el esfuerzo necesarios para realizar evaluaciones, en comparación con los métodos tradicionales que pueden requerir inspecciones manuales y mediciones en el sitio.

## **2.3. Análisis Espacial Avanzado**

Con el uso de herramientas avanzadas de análisis espacial, Sunscan puede modelar de manera detallada el entorno urbano y rural, considerando factores como la sombra y la orientación de los edificios. Los métodos tradicionales a menudo no tienen en cuenta estos factores con el mismo nivel de detalle, lo que puede llevar a estimaciones menos precisas del potencial solar.

## **2.4. Precisión en la segmentación**

Los métodos tradicionales a menudo dependen de inspecciones manuales y estimaciones generales, lo que puede resultar en segmentaciones imprecisas. "Segment Anything" utiliza algoritmos de inteligencia artificial entrenados con vastos conjuntos de datos de imágenes, lo que permite una segmentación precisa y automatizada de los tejados.

## 2.5. Eficiencia en el procesamiento

La automatización proporcionada por herramientas avanzadas reduce significativamente el tiempo y los recursos necesarios para el análisis. Mientras que los métodos tradicionales pueden requerir días o semanas de trabajo manual, el uso de "Segment Anything" y segment-geospatial puede realizar la segmentación en cuestión de minutos u horas.

## 2.6. Análisis detallado

Los métodos avanzados permiten un análisis más detallado y cuantitativo de cada segmento de tejado, incluyendo métricas como el área disponible, la irradiancia promedio y otras características relevantes. Los métodos tradicionales, por otro lado, pueden carecer de esta profundidad de análisis.

## 2.7. Simulaciones de Rendimiento Realistas

Sunscan utiliza PVLlib para realizar simulaciones detalladas del rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. Estas simulaciones consideran variables como la inclinación de los paneles, la orientación, y las condiciones climáticas locales, proporcionando estimaciones realistas de la producción de energía. Los métodos tradicionales pueden no incluir este nivel de simulación detallada, lo que puede resultar en proyecciones de rendimiento menos precisas.

## 2.8. Datos Meteorológicos Complejos

Sunscan integra datos meteorológicos detallados, incluyendo la irradiancia solar, la temperatura y la nubosidad, en sus cálculos. Esto permite ajustar las estimaciones de producción de energía para reflejar las condiciones climáticas específicas de cada ubicación. Los métodos tradicionales a menudo utilizan promedios climáticos generales, que pueden no capturar las variaciones locales y temporales en las condiciones meteorológicas.

## 2.9. Visualización Interactiva de Resultados

Sunscan produce visualizaciones interactivas que facilitan la interpretación y comunicación de los resultados. Estas visualizaciones incluyen mapas y gráficos interactivos que muestran la distribución espacial del potencial solar y los datos de rendimiento del sistema fotovoltaico. Los métodos tradicionales suelen producir reportes estáticos, que pueden ser menos intuitivos y más difíciles de interpretar.

## **2.10. Evaluación Integral de Costos y Beneficios**

Sunscan no solo estima la producción de energía, sino que también realiza análisis detallados de los costos y beneficios asociados con la implementación de sistemas fotovoltaicos. Esto incluye la evaluación de los costos de instalación, operación y mantenimiento, así como los ahorros económicos y los beneficios ambientales. Los métodos tradicionales pueden no proporcionar una evaluación tan integral y detallada de los costos y beneficios.

## **2.11. Flexibilidad y Escalabilidad**

Sunscan es altamente flexible y escalable, permitiendo su aplicación en diversas regiones y contextos. La metodología basada en datos geoespaciales y simulaciones puede adaptarse fácilmente a diferentes tamaños de proyectos, desde pequeñas instalaciones residenciales hasta grandes desarrollos urbanos. Los métodos tradicionales pueden ser más rígidos y menos adaptables a diferentes escalas de proyectos.

## **2.12. Mejora Continua y Actualización de Datos**

Con el uso de herramientas digitales y datos actualizables, Sunscan permite una mejora continua y la actualización de los datos de análisis. Esto es crucial para reflejar cambios en el entorno construido y las condiciones climáticas. Los métodos tradicionales pueden no tener la misma capacidad para incorporar nuevas informaciones y ajustar las evaluaciones en tiempo real.

## **2.13. Impacto en la Toma de Decisiones**

Finalmente, Sunscan proporciona información detallada y precisa que puede ser utilizada para la toma de decisiones informadas. Esto incluye decisiones sobre la planificación y diseño de sistemas fotovoltaicos, la inversión en tecnologías solares, y la implementación de políticas públicas de energía renovable. Los métodos tradicionales pueden no ofrecer el mismo nivel de detalle y precisión, lo que puede limitar su utilidad en la toma de decisiones estratégicas.

## 3. Pasos siguientes

### 3.1. Transferencia SunScan a Infradigital - AWS

La transferencia de SunScan a la plataforma InfraDigital del BID, que utiliza AWS (Amazon Web Services), representa un salto significativo en términos de escalabilidad, rendimiento y seguridad. Este proceso no solo implica migrar la aplicación a un nuevo entorno de nube sino también adaptar y optimizar sus operaciones para aprovechar las capacidades avanzadas de AWS. A continuación, se detalla el enfoque y los pasos implicados en esta transición hacia una infraestructura más robusta y escalable.

#### 3.1.1. Análisis y Planificación Preliminar

El primer paso en la transferencia de SunScan a AWS implica un análisis detallado de la arquitectura actual de la aplicación y su modelo de datos. Durante esta fase, se identifican los componentes y dependencias clave de la aplicación, incluidos los módulos de procesamiento de imágenes, algoritmos de inteligencia artificial y bases de datos. Este análisis ayuda a planificar una arquitectura de destino en AWS que no solo soporte estas operaciones sino que también las optimice.

#### 3.1.2. Diseño de Arquitectura en AWS

Basándose en el análisis preliminar, se diseña una arquitectura en AWS que aprovecha servicios gestionados para mejorar la eficiencia y reducir la carga de mantenimiento. Por ejemplo, Amazon S3 para el almacenamiento escalable de imágenes satelitales, Amazon EC2 y AWS Lambda para el procesamiento computacional, y Amazon RDS o DynamoDB para la gestión de bases de datos. Esta arquitectura busca maximizar la disponibilidad, la escalabilidad y la seguridad de la aplicación.

### **3.1.3. Adaptación y Refactorización del Código**

Con una arquitectura objetivo definida, el siguiente paso es adaptar y posiblemente refactorizar el código de SunScan para optimizar su ejecución en los servicios seleccionados de AWS. Esto puede implicar la reescritura de ciertas funciones para aprovechar las características específicas de AWS, como la elasticidad de EC2 o los triggers de Lambda para el procesamiento basado en eventos.

### **3.1.4. Implementación de la Seguridad y Cumplimiento**

La seguridad es una prioridad máxima en el proceso de migración. AWS ofrece un conjunto robusto de herramientas y servicios para gestionar la seguridad, incluyendo AWS Identity and Access Management (IAM) para controlar el acceso a los recursos de AWS, Amazon Cognito para la gestión de usuarios, y AWS Key Management Service (KMS) para la gestión de claves de cifrado. Implementar estas herramientas asegura que los datos y operaciones de SunScan cumplan con los más altos estándares de seguridad.

### **3.1.5. Pruebas y Optimización**

Antes de la migración completa, es crucial realizar pruebas exhaustivas en el entorno de AWS para garantizar que todos los componentes de SunScan funcionen como se espera. Esto incluye pruebas de rendimiento para validar la escalabilidad y la capacidad de respuesta de la aplicación bajo diferentes cargas de trabajo. Basándose en los resultados, se pueden hacer ajustes y optimizaciones adicionales para asegurar que SunScan aproveche al máximo los recursos de AWS.

### **3.1.6. Migración de Datos y Puesta en Marcha**

La migración efectiva de los datos existentes a AWS es un paso crítico, especialmente para una aplicación que depende de grandes conjuntos de datos geoespaciales. Servicios como AWS Database Migration Service pueden facilitar esta transferencia, asegurando que los datos se muevan de forma segura y eficiente. Una vez completada la migración de datos, SunScan puede ser oficialmente puesta en marcha en su nueva infraestructura en AWS.

### **3.1.7. Monitoreo y Mantenimiento Continuo**

Finalmente, una vez en producción, es esencial establecer un protocolo de monitoreo y mantenimiento continuo utilizando herramientas como Amazon CloudWatch para supervisar la salud y el rendimiento de la aplicación. Esto no solo ayuda a identificar y resolver rápidamente cualquier problema que pueda surgir, sino que también ofrece insights para futuras mejoras de rendimiento y escalabilidad.

Este proceso de migración y optimización garantiza que SunScan no solo se beneficie de la robustez y escalabilidad de AWS sino que también establezca un marco sólido para la innovación continua y el crecimiento en el ámbito de la evaluación del potencial de energía solar.

## **3.2. Complementar el análisis**

A medida que SunScan avanza, es fundamental explorar formas de complementar y mejorar el proyecto para maximizar su impacto. Las siguientes ideas se enfocan en diversos aspectos clave, como el almacenamiento de energía, la comparación de áreas, la inclusión de energía a la red nacional, la maximización de la generación de energía solar y soluciones para zonas no conectadas a la red eléctrica. Implementar estas mejoras permitirá que SunScan ofrezca soluciones más integrales y efectivas para la adopción de energía solar en la región. A continuación, se describen algunas de las posibles mejoras que se pueden realizar para complementar SunScan.



## 3.2.1. Almacenamiento de Energía

Predecir la generación y consumo de energía, optimizando el almacenamiento mediante modelos predictivos y sistemas de gestión inteligente.

### Beneficios

- **Maximización del Uso de Energía:** Almacenar el excedente de energía generada durante las horas de mayor irradiancia solar para su uso durante la noche o en periodos de baja generación.
- **Estabilidad del Suministro:** Garantizar un suministro continuo y estable de energía, reduciendo la dependencia de la red eléctrica.
- **Optimización de Costos:** Reducir los costos de energía mediante la gestión eficiente del almacenamiento y uso de la energía generada.

### Implementación

- **Modelos Predictivos:** Utilizar Python y bibliotecas como scikit-learn para desarrollar modelos de aprendizaje automático que predigan la generación y el consumo de energía.
- **Análisis de Datos:** Emplear pandas para analizar datos históricos de generación y consumo, identificando patrones y tendencias.
- **Optimización:** Implementar algoritmos de optimización con scipy para determinar las mejores estrategias de almacenamiento y uso de energía.

## 3.2.2. Inclusión de Energía a la Red Nacional

Desarrollar tecnologías y protocolos para la integración eficiente de la energía solar a la red eléctrica nacional.

### Beneficios

- **Integración Eficiente:** Asegurar una conexión segura y eficiente de los sistemas solares a la red eléctrica.
- **Reducción de Costos:** Reducir los costos de energía para los usuarios mediante la venta del excedente de energía generada.
- **Fomento de Energías Renovables:** Promover la adopción de energía solar y otras fuentes renovables.

### Implementación

- **Simulación de Redes:** Utilizar Python y simulaciones de flujo de energía para modelar la integración de sistemas solares a la red.

- Optimización de Flujo de Energía: Emplear algoritmos de optimización para gestionar el flujo de energía hacia y desde la red.

### 3.2.3. Maximizar la Generación de Energía Solar

Optimizar la ubicación de los paneles solares y gestionar la generación y almacenamiento de energía de manera eficiente mediante análisis de datos.

#### Beneficios

- Mayor Eficiencia: Aumentar la eficiencia de los sistemas solares mediante la optimización de la ubicación y orientación de los paneles.
- Maximización de Producción: Generar la mayor cantidad de energía posible en diferentes condiciones climáticas y horarios.
- Reducción de Desperdicios: Minimizar la pérdida de energía mediante estrategias de almacenamiento eficientes.

#### Implementación

- Optimización de Ubicación: Utilizar análisis geoespacial con geopandas y scikit-learn para identificar las mejores ubicaciones para los paneles solares.
- Sistemas de Seguimiento Solar: Implementar algoritmos de optimización para ajustar la posición de los paneles solares.
- Análisis Temporal: Emplear pandas para realizar análisis temporales de generación y consumo de energía.

### 3.2.4. Educación y Capacitación

Desarrollar programas de educación y capacitación para usuarios y profesionales en el uso y mantenimiento de sistemas solares.

#### Beneficios

- Mayor Conocimiento: Incrementar el conocimiento y habilidades en el uso y mantenimiento de sistemas solares.
- Mejor Rendimiento: Asegurar que los sistemas solares sean instalados y mantenidos correctamente para un rendimiento óptimo.

- Fomento de la Adopción: Promover la adopción de energía solar mediante la educación y concienciación.

### **Implementación**

- Cursos en Línea: Ofrecer cursos sobre instalación, mantenimiento y optimización de sistemas solares.
- Talleres y Seminarios: Organizar eventos para compartir mejores prácticas y conocimientos.
- Material Educativo: Crear manuales, guías y videos tutoriales.
- Certificación: Implementar programas de certificación para profesionales en energía solar.

## **3.2.5. Soluciones para Zonas Desconectadas de la Red Nacional**

Desarrollar soluciones específicas para áreas rurales y zonas no conectadas a la red eléctrica nacional.

### **Beneficios**

- Acceso a Energía: Proveer acceso a energía en comunidades aisladas, mejorando su calidad de vida.
- Independencia Energética: Permitir a las comunidades rurales ser energéticamente independientes.
- Desarrollo Sostenible: Promover el desarrollo sostenible en áreas remotas mediante el uso de energías renovables.

### **Implementación**

- Sistemas Autónomos: Diseñar sistemas solares autónomos que operen independientemente de la red eléctrica.
- Microgrids: Implementar microgrids que integren energía solar y almacenamiento para crear redes locales.
- Evaluación de Necesidades: Realizar evaluaciones de necesidades energéticas para diseñar soluciones personalizadas.
- Capacitación Local: Capacitar a técnicos y miembros de la comunidad en la instalación y mantenimiento de sistemas solares.
- Modelos de Financiación: Desarrollar modelos de financiación accesibles para facilitar la adopción de sistemas solares en áreas con recursos limitados.

## 4. Comentarios finales

La integración de herramientas avanzadas en SunScan ha demostrado ser crucial para evaluar de manera precisa el potencial solar en diversas regiones. El uso de bibliotecas como Leafmap, OSMnx, SAM y PVLib ha permitido obtener datos detallados, realizar simulaciones realistas y visualizar los resultados de manera interactiva. Esta combinación de tecnologías ha superado significativamente las limitaciones de los métodos tradicionales, proporcionando una base sólida para la planificación y toma de decisiones informadas en proyectos de energía solar.

Uno de los mayores logros de SunScan es la precisión alcanzada en la evaluación del potencial solar. Las imágenes satelitales de alta resolución y los datos geoespaciales detallados han permitido identificar características específicas de los tejados, como la inclinación, orientación y sombras proyectadas. Esto ha resultado en estimaciones mucho más precisas y detalladas del recurso solar disponible en comparación con los métodos convencionales, asegurando que las inversiones en energía solar se realicen de manera informada y eficiente.

La automatización de procesos mediante herramientas como Leafmap y OSMnx ha reducido significativamente el tiempo y el esfuerzo necesarios para realizar evaluaciones. La capacidad de descargar y procesar grandes volúmenes de datos geoespaciales y meteorológicos de manera automática ha permitido acelerar el análisis y mejorar la eficiencia general del proyecto. Esta automatización es un claro avance respecto a los métodos manuales y laboriosos tradicionalmente utilizados, permitiendo a SunScan ofrecer evaluaciones rápidas y precisas.

Las simulaciones detalladas de sistemas fotovoltaicos realizadas con SAM y PVLib han sido cruciales para obtener estimaciones realistas del rendimiento de los sistemas solares. Estas simulaciones han considerado variables clave como la inclinación de los paneles, la orientación y las condiciones climáticas locales, proporcionando una visión precisa de la producción de energía y los costos asociados. Esto ha permitido una evaluación más completa y precisa del potencial de implementación de sistemas fotovoltaicos, asegurando que las soluciones propuestas sean viables tanto técnica como económicamente.

Finalmente, la capacidad de generar visualizaciones interactivas ha sido un aspecto destacado del proyecto SunScan. Los mapas y gráficos interactivos creados con Plotly han facilitado la interpretación y comunicación de los resultados a diversos públicos interesados, desde investigadores y desarrolladores hasta responsables de políticas y planificadores urbanos. Estas visualizaciones han hecho que los datos sean más accesibles y comprensibles, mejorando la toma de decisiones y fomentando la adopción de tecnologías solares en la región.

En resumen, SunScan ha establecido un estándar elevado para la evaluación del potencial solar, combinando precisión, eficiencia y capacidad de análisis detallado. Las propuestas de mejora basadas en la ciencia de datos y el uso de Python no solo fortalecerán las capacidades actuales de SunScan, sino que también abrirán nuevas oportunidades para su aplicación en diversas

regiones y contextos. Con estas mejoras, SunScan está bien posicionado para seguir liderando en la promoción de la energía solar y contribuir significativamente a un futuro más sostenible y ecológico.

## 5. Referencias

- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (s.f.). SunScan. Recuperado de <https://github.com/EL-BID/Sunscan>
- Google Colab. (s.f.). SunScan Notebook. Recuperado de <https://colab.research.google.com/github/EL-BID/Sunscan/blob/main/notebook/SunScan.ipynb>
- Leafmap Documentation. (2023). Documentation for leafmap, a Python package for interactive mapping and geospatial analysis with minimal coding. Recuperado de <https://leafmap.org/>
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2023). PVLib Python: A library for simulating the performance of photovoltaic energy systems. Recuperado de <https://pvlib-python.readthedocs.io/en/stable/>
- Plotly Technologies Inc. (2023). Plotly: The front end for ML and data science models. Recuperado de <https://plotly.com/python/>
- Meta AI. (2023). Segment Anything Model (SAM). Recuperado de <https://ai.facebook.com/research/publications/segment-anything/>
- OpenStreetMap. (2023). OpenStreetMap Data. Recuperado de <https://www.openstreetmap.org>
- Google Earth Engine. (2023). Google Earth Engine Data Catalog. Recuperado de <https://earthengine.google.com/>
- Scikit-learn. (2023). Machine learning in Python. Recuperado de <https://scikit-learn.org/stable/>