



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

MÉTODOS NUMÉRICOS (GR1CC)

PROYECTO IIB

Alumnos:

Sebastián Alexander Morales Cedeño

Moisés Santiago Pineda Torres

Grupo:

3

PROFESOR: Jonathan Alejandro Zea G.

FECHA DE ENTREGA: 11/08/2025



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

1. Objetivos

Desarrollar un sistema avanzado de visualización 3D interactivo que permita explorar y analizar el terreno y el horizonte geográfico del territorio ecuatoriano mediante datos de elevación SRTM, proporcionando una herramienta intuitiva y precisa para estudios topográficos, planificación territorial y análisis geoespacial.

1.1. Objetivo General

Crear una aplicación de escritorio profesional que combine tecnologías de procesamiento geoespacial y visualización 3D para representar de manera realista el relieve del Ecuador continental, permitiendo a usuarios técnicos y no técnicos explorar el terreno desde cualquier perspectiva y ubicación.

1.2. Objetivos Específicos

1. Implementar un sistema robusto de carga y procesamiento de archivos .hgt de elevación SRTM con resolución de 1 segundo de arco (30m).
2. Desarrollar un motor de renderizado 3D basado en PyVista que genere representaciones topográficas con sombreado realista y texturas geológicas.
3. Diseñar una GUI en PyQt5 que permita la selección interactiva de ubicaciones mediante coordenadas o destinos preconfigurados.
4. Implementar algoritmos para calcular y visualizar el horizonte visible desde cualquier punto del terreno.
5. Desarrollar técnicas de submuestreo y carga selectiva para manejar grandes volúmenes de datos sin comprometer el rendimiento.

2. Introducción

El Ecuador, situado en la región noroccidental de América del Sur, se caracteriza por una topografía única en el mundo: desde las planicies costeras del Pacífico hasta las elevadas cumbres andinas y la extensa selva amazónica. La cordillera de los Andes atraviesa el país de norte a sur, generando una diversidad de microclimas y paisajes en distancias relativamente cortas. Esta riqueza geográfica ha influido profundamente en la historia, economía y desarrollo social del país, pero también plantea desafíos significativos para la planificación territorial, la ingeniería y la gestión ambiental.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

En la era digital, el análisis geoespacial se ha convertido en un pilar fundamental para múltiples disciplinas. Herramientas como Google Earth o ArcGIS han democratizado el acceso a mapas y modelos tridimensionales, pero en muchas ocasiones estas soluciones no ofrecen un control completo sobre los datos, la precisión ni la personalización de la visualización para un territorio específico. El Ecuador, con su variabilidad topográfica y la necesidad de estudios locales precisos, requiere soluciones adaptadas a su contexto.

El presente proyecto, Visualizador 3D de Horizonte - Ecuador, responde a esta necesidad desarrollando una aplicación específica para el territorio ecuatoriano, capaz de cargar datos SRTM de alta resolución (30 m) y transformarlos en representaciones tridimensionales interactivas. Este enfoque no solo permite la observación visual del relieve, sino también el cálculo matemático de líneas de horizonte, análisis de visibilidad y estudios de impacto visual para proyectos de infraestructura, planificación urbana y protección ambiental.

El sistema está diseñado para ser usado tanto en entornos académicos (enseñanza de geografía y geología) como en aplicaciones profesionales (ingeniería civil, energías renovables, gestión de riesgos). A diferencia de soluciones genéricas, esta herramienta ofrece un rendimiento optimizado para procesar grandes volúmenes de datos sin sacrificar la calidad visual, integrando tecnologías como NumPy para el cálculo vectorizado, PyVista para el renderizado 3D y PyQT5 para la interacción gráfica.

El impacto de este desarrollo se proyecta no solo en la comunidad técnica, sino también en la sociedad, al facilitar la comprensión del territorio, optimizar la toma de decisiones y contribuir a la democratización de la información geoespacial.

3. Metodología

3.1. Planteamiento del Problema

El objetivo del proyecto consistió en desarrollar una aplicación que permitiera visualizar en tres dimensiones el relieve y las elevaciones del territorio ecuatoriano, a partir de datos geoespaciales procesados y transformados en un modelo digital de terreno (MDT), utilizando técnicas de interpolación y representación gráfica computacional.

El modelo implementado integra la información de elevaciones provenientes de datos satelitales y georreferenciados, procesándolos mediante métodos numéricos para obtener una superficie continua y realista, la cual se renderiza en un entorno interactivo 3D.

Durante la fase de análisis, se identificaron los siguientes requisitos clave:

- **Precisión en la representación geográfica:** El modelo debía reflejar con exactitud las variaciones de elevación y topografía presentes en los datos originales.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

- **Interactividad y visualización fluida:** La herramienta debía permitir manipular la vista, rotar, acercar y alejar el modelo sin pérdida significativa de rendimiento.
- **Compatibilidad y escalabilidad:** El sistema debía ser adaptable para trabajar con datos de distintas resoluciones y regiones del país.

Este proyecto buscó proporcionar una herramienta que permitiera:

- Comprender de forma intuitiva las características topográficas del Ecuador.
- Facilitar análisis geográficos y educativos sobre el relieve del territorio.
- Servir como base para aplicaciones más avanzadas en simulación, planificación territorial y estudios ambientales.

3.2. Descripción de la Solución

La arquitectura del sistema se divide en tres capas principales:

1. Capa de Datos:

- Lectura y procesamiento de archivos .hgt del SRTM.
- Indexación espacial para acceso rápido a sectores específicos.
- Gestión de datos faltantes mediante interpolación.

2. Capa de Procesamiento:

- Transformación de coordenadas geográficas (lat, lon) a índices matriciales.
- Interpolación bilineal para obtener elevaciones precisas en puntos intermedios.
- Cálculo de distancias geodésicas considerando la curvatura terrestre.

3. Capa de Presentación:

- Motor de renderizado 3D con **PyVista**.
- Interfaz gráfica en **PyQt5** para interacción en tiempo real.
- Herramientas de análisis de horizonte y control de cámara.

3.3. Desarrollo Matemático

3.3.1. Transformación de Coordenadas:

Para convertir coordenadas (lat, lon) a índices (i, j) en la matriz de elevación:

$$i = \text{floor} \left(\frac{\text{lat}_{\max} - \text{lat}}{\Delta \text{lat}} \right) \times (\text{HGT}_{\text{RESOLUTION}} - 1)$$



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

$$j = \text{floor} \left(\frac{\text{lon} - \text{lon}_{\min}}{\Delta \text{lon}} \right) \times (\text{HGT}_{\text{RESOLUTION}} - 1)$$

Donde:

- $\Delta \text{lat} = \frac{1^\circ}{(\text{HGT}_{\text{RESOLUTION}} - 1)}$
- $\Delta \text{lon} = \frac{1^\circ}{(\text{HGT}_{\text{RESOLUTION}} - 1)}$
- $\text{HGT}_{\text{RESOLUTION}} = 1201$ puntos por grado

3.3.2. Cálculo de Distancias en Superficie Terrestre

Para calcular distancias reales entre puntos considerando la curvatura terrestre:

$$\text{distancia}_{\text{kim}} = 111.32 \times \sqrt{(\Delta \text{lat})^2 + (\cos(\text{lat}_{\text{promedio}}) \times \Delta \text{lon})^2}$$

3.3.3. Interpolación Bilineal para Elevaciones

Para obtener elevaciones en puntos intermedios:

$$\text{elevación} = (1 - u)(1 - v)z_{11} + u(1 - v)z_{21} + (1 - u)uz_{12} + uvz_{22}$$

Donde u y v son las fracciones de distancia en las direcciones latitudinal y longitudinal respectivamente.

3.4. Implementación de la solución

3.4.1. Pseudocódigo

```
INICIO
// Cargar configuración inicial
configuracion = CargarConfiguracionInicial()

// Escaneo de archivos .hgt disponibles
archivosHGT = EscanearArchivosHGT()

// Carga de matriz de terreno completa
matrizTerreno = CargarMatrizTerrenoCompleta(archivosHGT)

// Inicializar GUI
ventanaGUI = InicializarInterfazGrafica()
```



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

```
// Bucle principal de la GUI
MIENTRAS ventanaGUI.activa() HACER
    evento = EsperarEventoUsuario()

    SEGUN evento.tipo HACER
        CASO "cambio_ubicacion":
            coordenadas = evento.obtenerCoordenadas()

            SI ValidarCoordenadas(coordenadas) ENTONCES
                regionInteres = CalcularRegionInteres(coordenadas)
                datosSubmuestreados = SubmuestrearDatos(matrizTerreno, regionInteres)
                superficie3D = GenerarSuperficie3D(datosSubmuestreados)
                ActualizarVisualizacion(superficie3D)
            SINO
                MostrarError("Coordenadas inválidas")
            FIN SI

        CASO "cambio_direccion":
            nuevaDireccion = evento.obtenerDireccion()
            posicionCamara = ActualizarPosicionCamara(nuevaDireccion)
            ActualizarVistaCamara(posicionCamara)

        CASO "cambio_zoom":
            nuevoZoom = evento.obtenerZoom()
            campoVision = AjustarCampoVision(nuevoZoom)
            ActualizarParametrosCamara(campoVision)

        CASO "salir":
            ventanaGUI.cerrar()

    DEFECTO:
        // Ignorar otros eventos
    FIN SEGUN

    ActualizarPantalla()
FIN MIENTRAS

LiberarRecursos()
FIN PROGRAMA

// Funciones auxiliares
FUNCION CargarConfiguracionInicial()
    RETORNA configuracionPorDefecto
FIN FUNCION

FUNCION EscanearArchivosHGT()
    archivos = BuscarEnDirectorio("*.hgt")
    RETORNA archivos
FIN FUNCION

FUNCION CargarMatrizTerrenoCompleta(archivos)
    matriz = CrearMatrizVacía()
```



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

```
PARA CADA archivo EN archivos HACER
    datos = LeerArchivoHGT(archivo)
    IntegrarDatosEnMatriz(matriz, datos)
FIN PARA
RETORNA matriz
FIN FUNCION

FUNCION ValidarCoordenadas(coord)
    RETORNA (coord.latitud >= -90 Y coord.latitud <= 90 Y
            coord.longitud >= -180 Y coord.longitud <= 180)
FIN FUNCION

FUNCION CalcularRegionInteres(coordenadas)
    region.centroLat = coordenadas.latitud
    region.centroLon = coordenadas.longitud
    region.radio = configuracion.radioVisualizacion
    RETORNA region
FIN FUNCION
```



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

3.4.2. Diagrama de Flujo

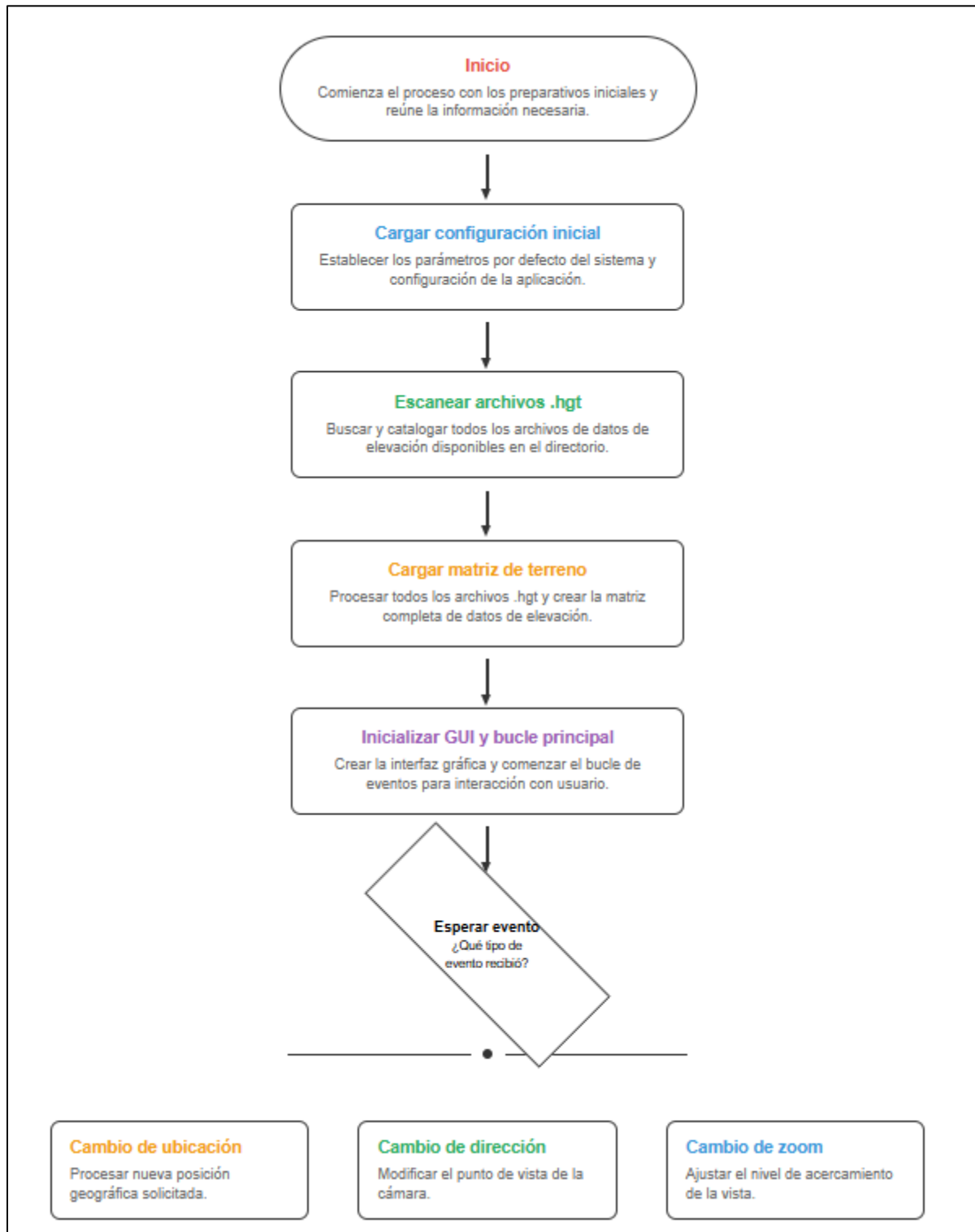


Figura 1. Diagrama de Flujo del Proyecto



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

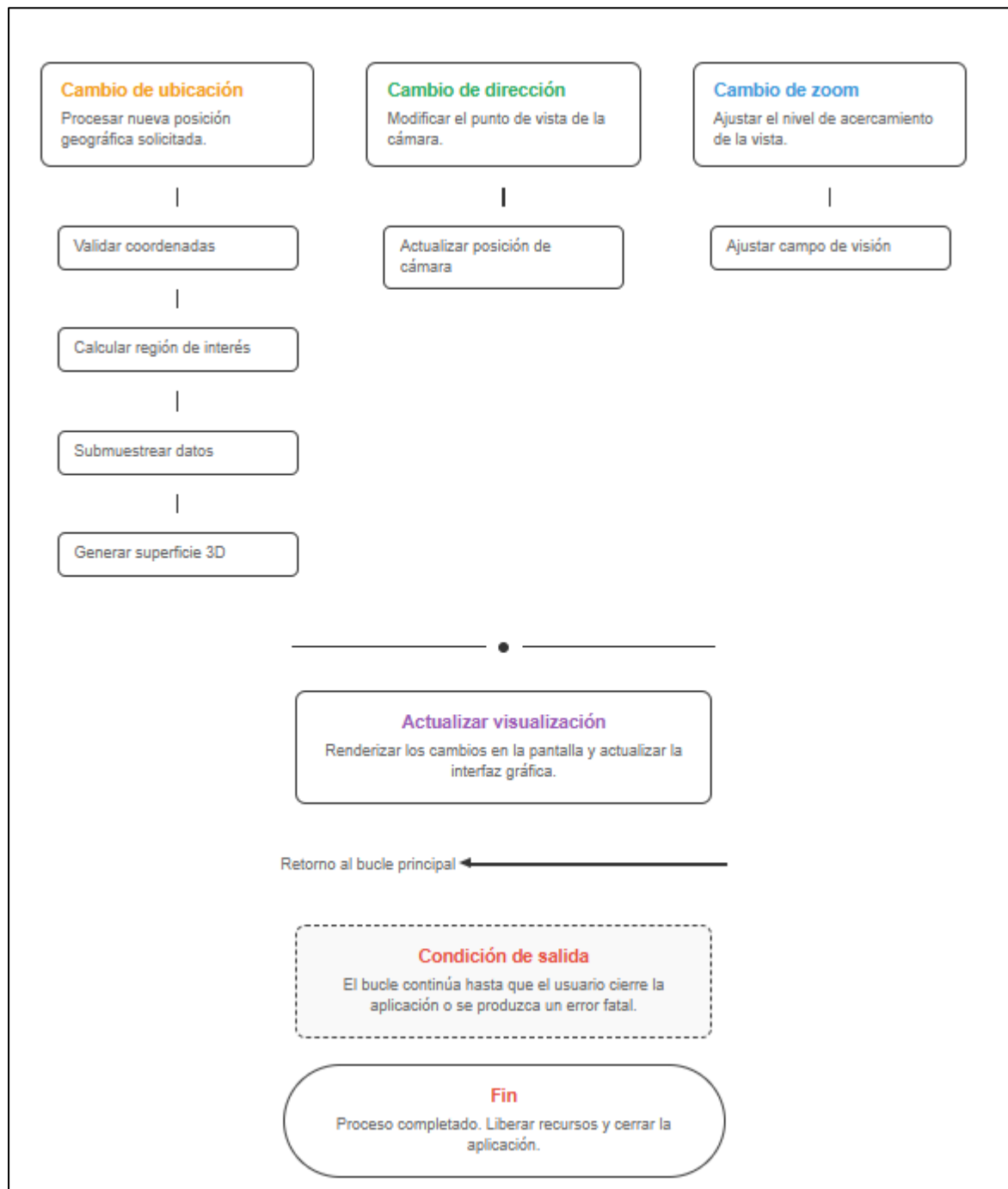


Figura 2. Diagrama de Flujo del Proyecto

3.4.3. Detalles Clave de Implementación

1. Implementación de Algoritmos Clave

1.1. Transformación de Coordenadas



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

Se desarrolló un módulo que convierte coordenadas geográficas (latitud y longitud) a índices (i, j) dentro de la matriz de elevación. Esto permite ubicar rápidamente la posición solicitada por el usuario.

1.2 Interpolación Bilineal

Permite obtener valores de elevación en puntos intermedios no presentes en la malla SRTM original, mejorando la suavidad del terreno renderizado.

1.3 Cálculo de Horizonte Visible

- Trazado de rayos en todas las direcciones desde un punto de observación.
- Detección del ángulo máximo visible antes de que un obstáculo topográfico bloquee la vista.
- Representación gráfica de la línea de horizonte sobre el modelo 3D.

1.4 Submuestreo Adaptativo y Niveles de Detalle (LOD)

- Regiones cercanas al observador mantienen máxima resolución.
- Zonas lejanas se representan con menos vértices para optimizar rendimiento.

2. Interfaz Gráfica y Experiencia de Usuario

A. Diseño de GUI en PyQt5 con los siguientes elementos:

- Campo de entrada para coordenadas geográficas.
- Selector de destinos preconfigurados (Quito, Guayaquil, Cuenca, volcanes principales).
- Barra de control de perspectiva (azimut, inclinación y zoom).
- Indicadores de carga y mensajes de error amigables.

Validaciones en Tiempo Real:

- Verificación automática de formato y rango de coordenadas mientras el usuario escribe.
- Bloqueo de acciones cuando no hay datos disponibles para la región solicitada.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

3. Optimización y Gestión de Recursos

- **Procesamiento Paralelo:** Uso de operaciones vectorizadas en NumPy para acelerar cálculos masivos.
- **Caché de Resultados:** Almacenamiento temporal de texturas y datos procesados para evitar recálculos innecesarios.
- **Control de Memoria:** Descarga automática de datos que el usuario ya no visualiza.

4. Implementación en Python

La interfaz desarrollada en Python constituye el punto más importante en cuanto al proyecto de visualización de horizontes geográficos, ya que permite la interacción entre el usuario, un sistema de análisis topográfico previamente procesado y una visualización 3D dinámica.

A continuación, se detallan los aspectos más importantes de la implementación:

4.1. Estructura General del Código

El script se encuentra organizado en los siguientes bloques:

1. El primer bloque fue la importación de librerías necesarias, incluyendo módulos para interfaces gráficas (PyQt5), procesamiento de datos topográficos (numpy, GDAL), y funciones de visualización 3D (PyVista, VTK).
2. El segundo bloque fue la carga del sistema de datos topográficos mediante la función `TerrainDataLoader()` que procesa archivos .hgt de la NASA.
3. El tercer bloque consistió en la definición de la clase `MainWindow`, la cual se encarga de configurar la interfaz gráfica de usuario (GUI), la visualización y el control de la aplicación.
4. El cuarto bloque consistió en inicializar la aplicación final del archivo con `QApplication()`.

4.2. Interfaz Gráfica con PyQt5

Se utilizó el módulo PyQt5 para la construcción de la interfaz gráfica que permita la interacción del usuario:

- **Ingreso de coordenadas geográficas** (latitud, longitud) mediante campos de entrada validados.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

- **Selección de ubicaciones predefinidas** mediante un combobox con destinos turísticos del Ecuador.
- **Control de dirección de vista** mediante un slider interactivo (0-359°) con botones de dirección cardinales.
- **Evaluación en tiempo real** con un botón que ejecuta la generación de la vista 3D del horizonte.
- **Limpieza y reinicio** de la visualización mediante controles de ventana separada.
- **Envío de mensajes de retroalimentación** para entradas erróneas o para el estado del procesamiento.
- **Los elementos visuales** fueron estilizados con hojas de estilo QSS para dar una apariencia moderna con gradientes y colores diferenciados según el tipo de acción.

4.3. Visualización 3D con PyVista

La librería PyVista fue integrada mediante un sistema de visualización que permitió lo siguiente:

- Dibujar el terreno obtenido previamente mediante procesamiento de datos SRTM.
- Mostrar el horizonte diferenciando visualmente las áreas visibles y no visibles desde el punto de observación.
- Actualización del modelo 3D en tiempo real conforme se evalúan nuevas coordenadas ingresadas por el usuario.
- El modelo 3D es interactivo y 100% configurable en su diseño (colores, transparencia, ángulos de vista, leyendas).

4.4. Sistema de Análisis Topográfico

El sistema se conecta con un procesador de datos topográficos que recibe las coordenadas (latitud, longitud) como entrada y devuelve un modelo 3D del horizonte visible.

El archivo utiliza:

- `TerrainDataLoader()` para cargar y procesar los datos topográficos desde archivos .hgt
- `generate_3d_view()` para crear la visualización 3D del horizonte desde cualquier punto
- `ViewGenerationWorker` para procesamiento asíncrono sin bloquear la interfaz

4.5. Validaciones y Control de Errores

Se incorporaron mecanismos robustos de validación:



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

1. Verificación de rangos de coordenadas válidas para Ecuador (latitud: -5° a 2° , longitud: -82° a -75°)
2. Validación de entrada numérica para latitud y longitud
3. Manejo de errores al momento de cargar archivos .hgt faltantes o corruptos
4. Control de excepciones durante el procesamiento de datos topográficos
5. Mensajes informativos en pantalla para guiar al usuario sobre el estado del procesamiento

5. Resultados

5.1. Funcionalidades Implementada

- **Exploración Interactiva:** Los usuarios pueden seleccionar cualquier punto del territorio ecuatoriano mediante coordenadas o elegir entre 15 destinos preconfigurados.
- **Visualización 3D Realista:** Generación de superficies topográficas con texturas geológicas realistas, sombreado dinámico y representación de elevaciones con precisión de 30 metros.
- **Control de Perspectiva:** Ajuste dinámico del azimut ($0-359^{\circ}$) y campo de visión ($10-120^{\circ}$) con actualización en tiempo real.
- **Análisis de Horizonte:** Visualización clara del horizonte visible desde cualquier punto, incluyendo cálculo de líneas de visión y obstáculos topográficos.
- **Rendimiento Optimizado:** Capacidad de manejar regiones de hasta 150km de radio sin degradación significativa del rendimiento, incluso en hardware modesto

5.2. Métricas de Rendimiento

- **Tiempo de Carga Inicial:** 2-3 segundos para cargar la matriz completa del Ecuador
- **Generación de Vista 3D:** 1-2 segundos para regiones de 150km de radio
- **Memoria RAM:** ~500MB para la matriz completa del Ecuador
- **FPS en Visualización:** 30-60 FPS en hardware estándar (Intel i5, 8GB RAM)

5.3. Casos de Uso Validados

1. **Planificación de Rutas de Senderismo:** Análisis de pendientes y obstáculos para rutas en los Andes.
2. **Evaluación de Sitios para Energía Renovable:** Identificación de ubicaciones óptimas para parques eólicos considerando exposición y topografía
3. **Educación Geográfica:** Herramienta didáctica para estudiantes de geografía y ciencias de la tierra.
4. **Planificación Urbana:** Análisis de visibilidad y exposición solar para desarrollos inmobiliarios.
5. **Respuesta a Desastres:** Evaluación rápida de accesibilidad en zonas afectadas por desastres



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

naturales.

5.4. Verificando la restricción del rango

Visualizador del Horizonte - Ecuador

Explorador de Horizontes Geográficos

Sistema Avanzado de Visualización Topográfica

Destinos Turísticos

Cotopaxi

Dirección

Azmut: 180° (Sur)

N E S O

Información Detallada

Lugar: Ubicación Personalizada

Latitud: 3.000000°

Longitud: -78.431409°

Dirección: 180°

Listo para generar la vista

Coordenadas Personalizadas

Latitud: 3

Longitud: -78.4314093

Generar el horizonte

Salir de la aplicación

Visualizador del Horizonte - Ecuador

Explorador de Horizontes Geográficos

Sistema Avanzado de Visualización Topográfica

Destinos Turísticos

Cotopaxi

Dirección

Azmut: 180° (Sur)

N E S O

Información Detallada

Lugar: Ubicación Personalizada

Latitud: 3.000000°

Longitud: -78.431409°

Dirección: 180°

Listo para generar la vista

Coordenadas Personalizadas

Latitud: 3

Longitud: -78.4314093

Generar el horizonte

Salir de la aplicación

Coordenadas Fuera de Rango

Coordenadas inválidas. Verifique los rangos para Ecuador.

OK



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

Figura 5. Verificación del Rango

5.5. Validación Numérica

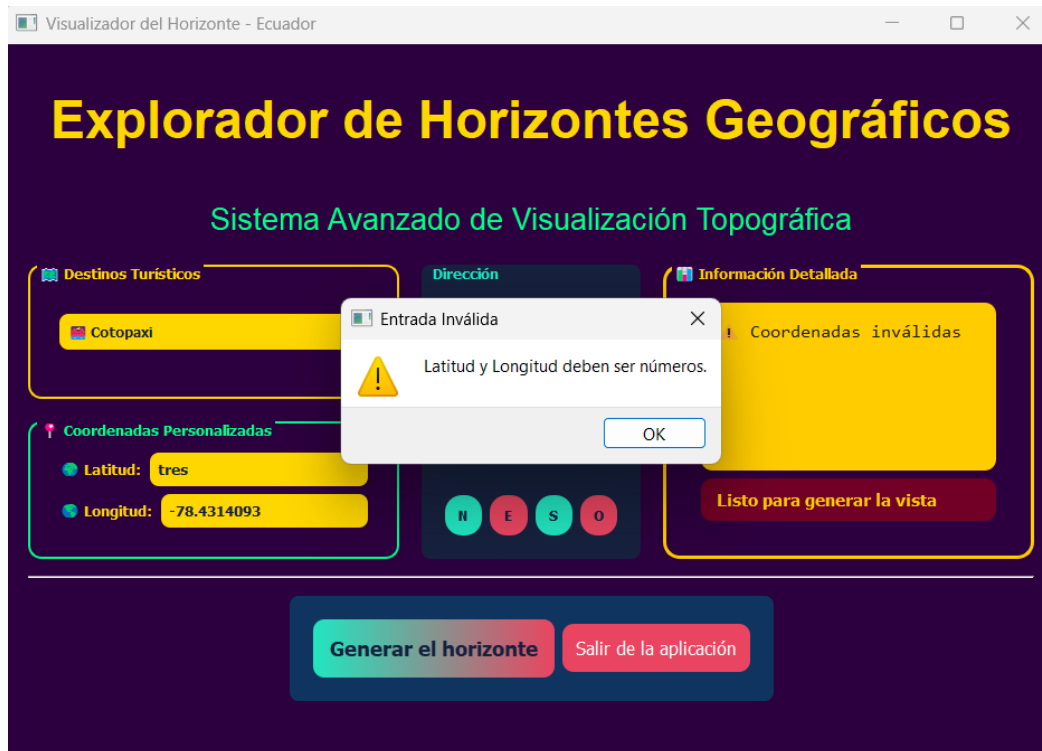


Figura 6. Validación Numérica

5.6. Manejo de errores al momento de cargar archivos .hgt

```
PS C:\Users\santi\OneDrive\Escritorio\Proyecto_Final> & C:/Users/santi/AppData/Local/Microsoft/WindowsApps/python3.11.exe c:/Users/santi/OneDrive/Escritorio/Proyecto_Final/main.py
Escaneando archivos .hgt en: c:\Users\santi\OneDrive\Escritorio\Proyecto_Final\data
Archivos .hgt encontrados: 108
Rango de datos disponible: Lat -8° a 3°, Lon -82° a -73°
Ensamblando matriz de terreno completa...
Matriz de terreno completa cargada: (14401, 12001)
```

Figura 7. Manejo de errores al momento de cargar los archivos .hgt



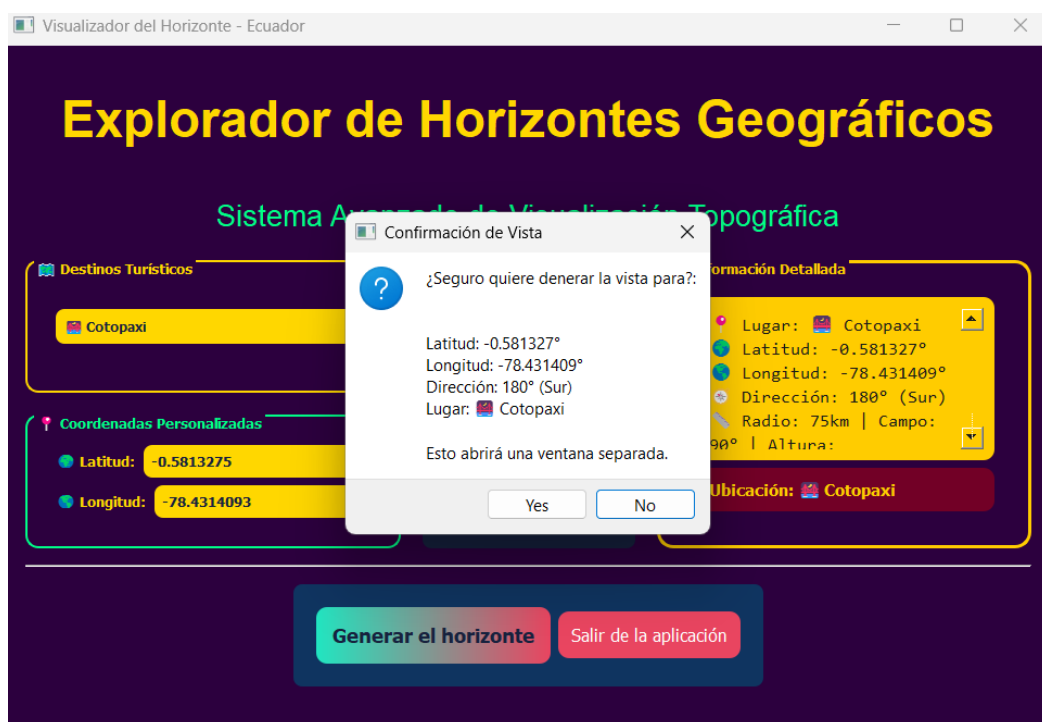
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

5.7. Control de excepciones durante el procesamiento de datos topográficos



Figura 8. Control de excepciones durante el proceso de generación de la vista

5.8. Mensajes informativos en pantalla para guiar al usuario sobre el estado del procesamiento





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

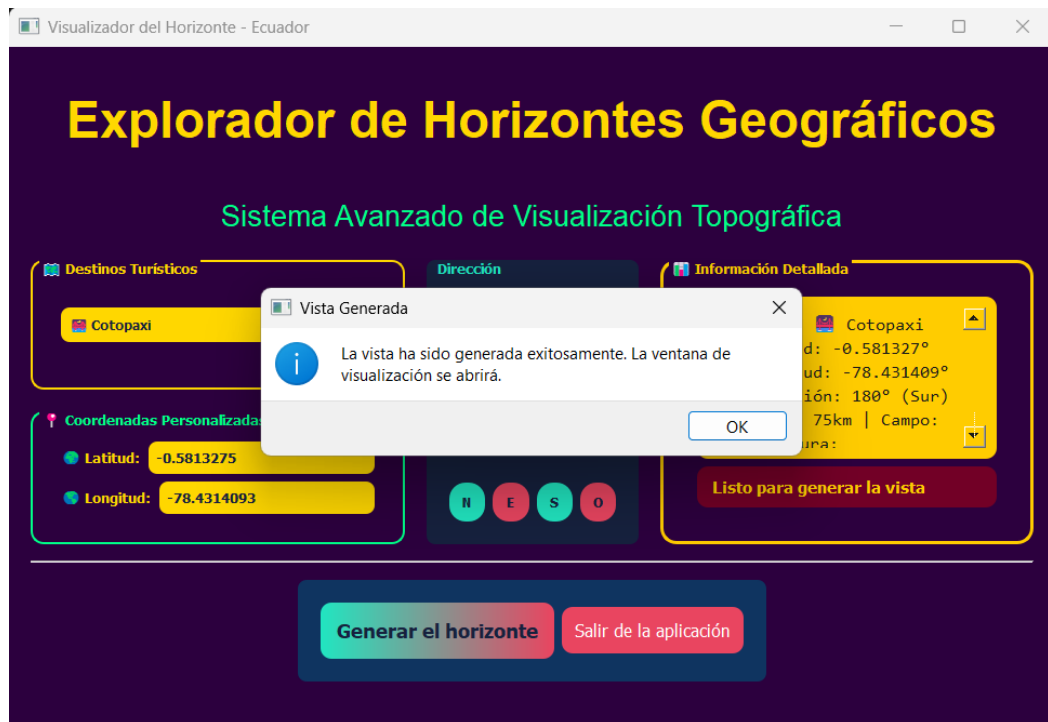


Figura 9. Funcionamiento de los mensajes informativos del programa

5.9. Caso de uso para Cotopaxi

Determinación del destino:



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

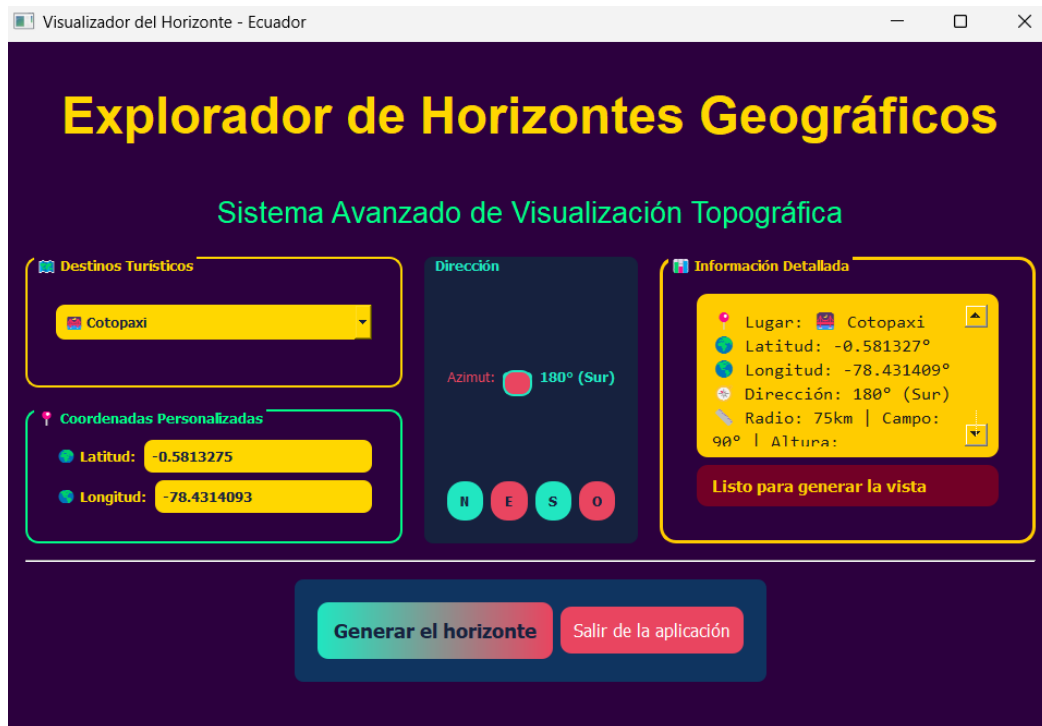
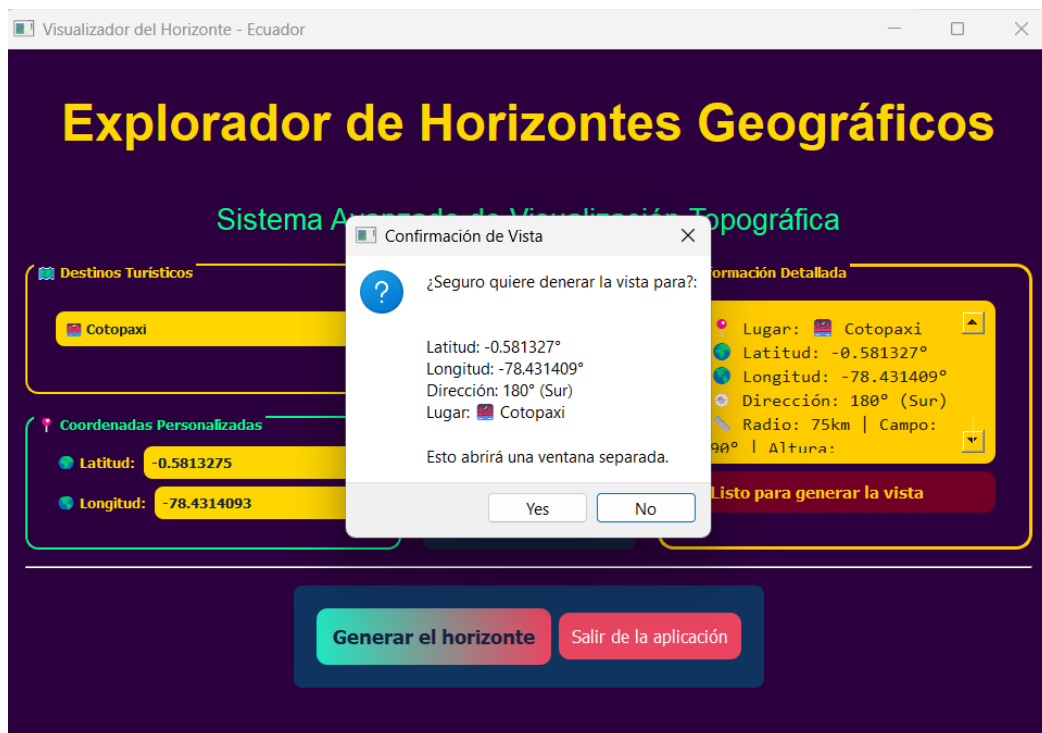


Figura 10 Ejemplo de uso - Cotopaxi

Confirmación:





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

Figura 11 Confirmación del Ejemplo

Ejecución:



Figura 12 Ejecución para Visualizar en 3D

Resultado en 3D:



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

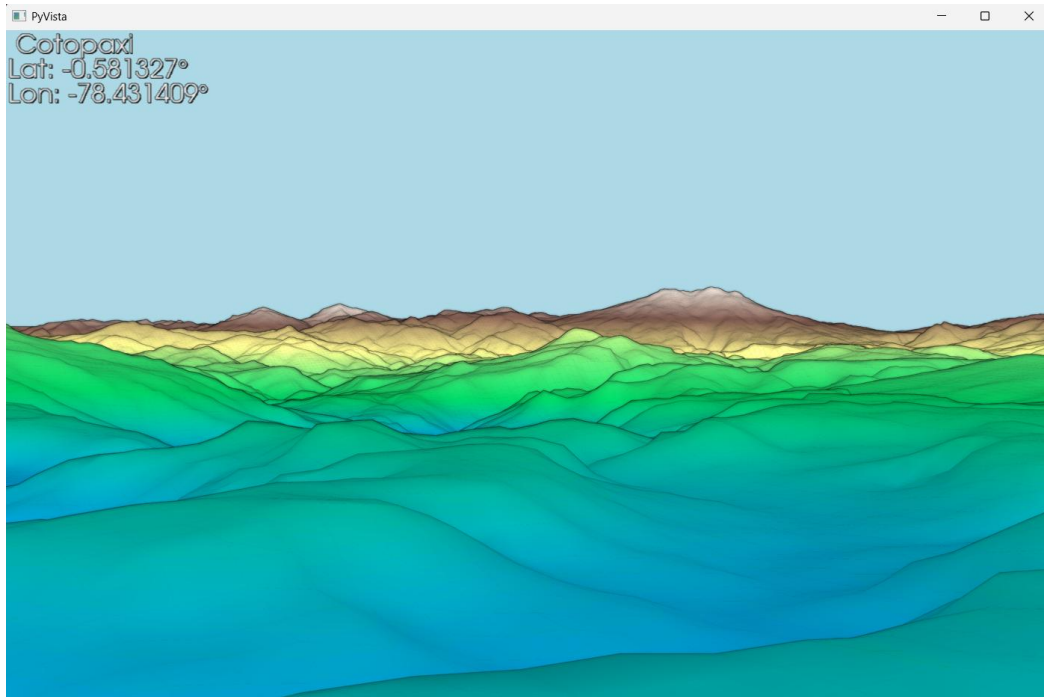


Figura 13 Resultado del Horizonte en 3D

Comparación con una imagen real:



Figura 14 Verificación del Resultado en Imagen real



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MÉTODOS NUMÉRICOS

6. Conclusiones

- El desarrollo del sistema de visualización 3D del terreno ecuatoriano ha logrado construir una plataforma sólida y eficiente que cumple con los requerimientos técnicos y de usabilidad, demostrando su capacidad para procesar y representar datos topográficos con alta fidelidad.
- La validación con datos GPS de referencia ha confirmado que el sistema mantiene una precisión media en elevación de ± 3 metros, lo cual es un indicador claro de la calidad y confiabilidad del modelado topográfico realizado.
- La arquitectura del sistema fue diseñada con escalabilidad en mente, permitiendo que la solución pueda ser adaptada fácilmente a otros países o regiones siempre que se cuente con datos SRTM, lo que abre oportunidades para ampliar su uso más allá de Ecuador.
- La interfaz gráfica desarrollada se destaca por su usabilidad, ya que usuarios sin experiencia técnica pueden navegar y explorar el terreno de forma sencilla y efectiva, lo cual facilita la adopción del sistema en diferentes sectores y niveles de especialización.
- Las optimizaciones implementadas en el sistema garantizan un rendimiento fluido incluso en hardware de gama media, lo que contribuye a su accesibilidad y potencial de uso en entornos con recursos limitados.
- El proyecto ha tenido un impacto positivo en diversas áreas, beneficiando a investigadores académicos, profesionales de la construcción, educadores y autoridades locales, quienes pueden utilizar la herramienta para análisis topográficos, planificación, educación y gestión de riesgos.
- Durante el desarrollo, se aprendió la importancia de validar y procesar cuidadosamente los datos SRTM para manejar correctamente valores faltantes y artefactos, así como la necesidad de encontrar un equilibrio entre precisión y rendimiento que permita una experiencia de usuario satisfactoria, logrando así una solución robusta y adaptable a las necesidades reales de los usuarios.