

GeoAI con Python

*Una guía práctica de inteligencia
artificial geoespacial de código
abierto*



Qiusheng Wu

GeoAI con Python

Una guía práctica de inteligencia artificial
geoespacial de código abierto

Qiusheng Wu
2026

Contents

Prefacio	1
Introducción	3
Para quién es este libro	4
Contenido del libro	5
Cómo aprovechar al máximo este libro	8
Convenciones utilizadas en este libro	9
Descarga de los ejemplos de código	10
Tutoriales en video	10
Comunidad y retroalimentación	10
Sobre el autor	11
Licencia y derechos de autor	11
I: Fundamentos	13
1. Introducción a GeoAI	15
1.1. Introduccion	15
1.2. Objetivos de Aprendizaje	16
1.3. Que es GeoAI?	16
1.4. Aplicaciones Clave de GeoAI	18
1.5. El Ecosistema Python para GeoAI	22
1.6. Tareas Fundamentales de IA en el Analisis Geoespacial	25
1.7. De los Metodos Tradicionales a los Modelos Fundacionales	31
1.8. Conclusiones Clave	32
1.9. Ejercicios	33
2. Configuración del Entorno	35
2.1. Introducción	35
2.2. Objetivos de Aprendizaje	35
2.3. Requisitos de Hardware	35
2.4. Instalación de Controladores NVIDIA	36
2.5. Instalación de Python con Miniconda	39
2.6. Creación de un Entorno Conda	40
2.7. Instalación de GeoAI y PyTorch con Soporte de GPU	41
2.8. Instalación de uv como Gestor de Paquetes Alternativo	43
2.9. Configuración de Jupyter	44
2.10. Instalación de Visual Studio Code	45
2.11. Verificación de Tu Configuración	46
2.12. Ejercicios	48
3. Fundamentos de Datos Geoespaciales	49
3.1. Introducción	49
3.2. Objetivos de Aprendizaje	49
3.3. Datos Ráster	49
3.4. Datos Vectoriales	53
3.5. Sistemas de Referencia de Coordenadas	56
3.6. Formatos de Anotación para Deep Learning	57
3.7. Mosaicado de Imágenes y Chips	59
3.8. Puntos Clave	60
3.9. Ejercicios	60

II: Adquisición y preparación de datos	63
4. Descarga de Datos de Teledetección	65
4.1. Introducción	65
4.2. Objetivos de aprendizaje	65
4.3. Fuentes de imágenes satelitales	66
4.4. Búsqueda con STAC	67
4.5. Descarga de imágenes NAIP	73
4.6. Descarga de datos Sentinel-2	74
4.7. Descarga de datos Landsat	75
4.8. Descarga de datos abiertos de Vantor	77
4.9. Acceso a datos vectoriales	78
4.10. Organización de sus datos	80
4.11. Puntos clave	81
4.12. Ejercicios	81
5. Mapas Interactivos y Visualización	83
5.1. Introducción	83
5.2. Objetivos de aprendizaje	83
5.3. Creación de mapas interactivos con Leafmap	84
5.4. Trabajo con datos ráster en mapas	85
5.5. Visualización de datos desde Planetary Computer	88
5.6. Trabajo con datos vectoriales en mapas	92
5.7. Mapas de panel dividido para comparación	94
5.8. Visualización de resultados de modelos	95
5.9. Mejores prácticas para visualización en GeoAI	97
5.10. Conclusiones clave	98
5.11. Ejercicios	99
6. Creación de Datos de Entrenamiento	101
6.1. Introducción	101
6.2. Objetivos de Aprendizaje	101
6.3. El Pipeline de Datos de Entrenamiento	101
6.4. Generación de Chips de Imagen a Partir de una Imagen Única	102
6.5. Procesamiento por Lotes de Múltiples Imágenes	107
6.6. Procesamiento por Lotes con Máscaras Ráster	111
6.7. Consideraciones sobre la Calidad de las Etiquetas	112
6.8. Organización del Conjunto de Datos	112
6.9. Resumen	114
6.10. Puntos Clave	114
6.11. Ejercicios	115
III: Tareas principales de IA	117
7. Reconocimiento de Imágenes	119
7.1. Introduccion	119
7.2. Objetivos de Aprendizaje	119
7.3. Comprension de la Clasificacion de Imagenes	120
7.4. Arquitecturas de Clasificacion	121
7.5. Preparacion de Datos para Clasificacion	122
7.6. Importar Bibliotecas	123
7.7. Descargar el Conjunto de Datos EuroSAT RGB	124
7.8. Explorar el Conjunto de Datos	124

7.9.	Entrenar un Clasificador ResNet-50	126
7.10.	Graficar el Historial de Entrenamiento	127
7.11.	Evaluar en el Conjunto de Prueba	127
7.12.	Graficar la Matriz de Confusion	128
7.13.	Visualizar Predicciones	130
7.14.	Entrenar un Clasificador EfficientNet-B0	131
7.15.	Comparar Resultados	133
7.16.	Publicar y Reutilizar Modelos	133
7.17.	Puntos Clave	135
7.18.	Ejercicios	135
8.	<i>Detección de Objetos</i>	137
8.1.	Introduccion	137
8.2.	Objetivos de Aprendizaje	137
8.3.	Comprendiendo la Deteccion de Objetos	138
8.4.	Arquitecturas de Deteccion	139
8.5.	Preparacion de Conjuntos de Datos de Deteccion	142
8.6.	Evaluacion de Resultados de Deteccion	142
8.7.	Importar Bibliotecas	144
8.8.	Descargar el Conjunto de Datos NWPU-VHR-10	144
8.9.	Explorar el Conjunto de Datos	144
8.10.	Preparar el Conjunto de Datos	145
8.11.	Visualizar Anotaciones de Ejemplo	146
8.12.	Entrenar un Modelo de Deteccion Multiclase	146
8.13.	Graficar Metricas de Entrenamiento	147
8.14.	Evaluar con Metricas COCO	148
8.15.	Ejecutar Inferencia en Imagenes de Ejemplo	149
8.16.	Visualizar Detecciones	150
8.17.	Inferencia por Lotes en Multiples Imagenes	151
8.18.	Publicar y Reutilizar Modelos	152
8.19.	Conclusiones Clave	154
8.20.	Ejercicios	155
9.	<i>Segmentación Semántica</i>	157
9.1.	Introducción	157
9.2.	Objetivos de Aprendizaje	157
9.3.	Fundamentos de la Segmentación Semántica	158
9.4.	Importar Bibliotecas	160
9.5.	Detección de Edificios a partir de Imágenes Aéreas	160
9.6.	Cartografía de Aguas Superficiales	166
9.7.	Detección de Nubes y Sombras de Nubes	190
9.8.	Clasificación de Cobertura Terrestre	196
9.9.	Publicar y Reutilizar Modelos	201
9.10.	Puntos Clave	202
9.11.	Ejercicios	203
10.	<i>Segmentación de Instancias</i>	205
10.1.	Introducción	205
10.2.	Objetivos de Aprendizaje	205
10.3.	Segmentación de Instancias vs. Segmentación Semántica	206
10.4.	Arquitectura Mask R-CNN	207

10.5.	Descarga del Conjunto de Datos FTW	208
10.6.	Preparación de los Datos de Entrenamiento	210
10.7.	Entrenamiento de un Modelo Mask R-CNN	211
10.8.	Ejecución de Inferencia	212
10.9.	Posprocesamiento de Predicciones	214
10.10.	Extracción de Propiedades Geométricas	216
10.11.	Procesamiento por Lotes	219
10.12.	Conclusiones Clave	219
10.13.	Ejercicios	220
11.	<i>Traducción de Imágenes</i>	223
11.1.	Introducción	223
11.2.	Objetivos de Aprendizaje	223
11.3.	Fundamentos de la Traducción de Imágenes	224
11.4.	Importar Librerías	226
11.5.	Descargar Datos de Ejemplo	226
11.6.	Visualizar el Compuesto RGB de Entrada	227
11.7.	Superresolución de Parche Único	228
11.8.	Estimación de Incertidumbre	229
11.9.	Inferencia por Mosaicos para Regiones Más Grandes	231
11.10.	Limitaciones y Precauciones	233
11.11.	Conclusiones Clave	234
11.12.	Ejercicios	235
12.	<i>Detección de Cambios</i>	237
12.1.	Introducción	237
12.2.	Objetivos de Aprendizaje	237
12.3.	Comprensión de la Detección de Cambios	238
12.4.	Métodos Tradicionales de Detección de Cambios	239
12.5.	Aprendizaje Profundo para Detección de Cambios	241
12.6.	Importar Bibliotecas	242
12.7.	Listar Modelos Disponibles	243
12.8.	Configuración	243
12.9.	Descargar Datos de Ejemplo	243
12.10.	Visualizar Imágenes de Entrada	244
12.11.	Inicializar el Modelo ChangeStar	244
12.12.	Ejecutar Detección de Cambios	245
12.13.	Visualizar Resultados	245
12.14.	Uso de la Función de Conveniencia	247
12.15.	Comparación de Variantes del Modelo	247
12.16.	Ajuste del Umbral	248
12.17.	Ver Salidas Guardadas	249
12.18.	Conclusiones Clave	250
12.19.	Ejercicios	251
13.	<i>Regresión a Nivel de Píxel</i>	253
13.1.	Introducción	253
13.2.	Objetivos de Aprendizaje	253
13.3.	Comprensión de la Regresión de Píxeles	254
13.4.	Arquitecturas de Regresión	255
13.5.	Caso de Estudio: Predicción de NDVI a partir de Imágenes Landsat	256

13.6. Métricas de Evaluación	262
13.7. Conclusiones Clave	263
13.8. Ejercicios	263
IV: Modelos fundacionales y embeddings satelitales	265
14. Segment Anything para Geoespacial	267
14.1. Introducción	267
14.2. Objetivos de Aprendizaje	268
14.3. Cómo Funciona SAM 3	268
14.4. Configuración del Entorno	269
14.5. Segmentación de Imágenes	269
14.6. Indicaciones de Puntos para Segmentación de Instancias	274
14.7. Indicaciones de Caja para Extracción de Edificios	281
14.8. Segmentación por Lotes	285
14.9. Segmentación por Mosaicos para Imágenes Grandes	287
14.10. Segmentación Interactiva	290
14.11. Segmentación de Video	292
14.12. Conclusiones Clave	298
14.13. Ejercicios	299
15. Modelos de Visión y Lenguaje	301
15.1. Introducción	301
15.2. Objetivos de Aprendizaje	302
15.3. Cómo Funcionan los Modelos de Visión-Lenguaje	302
15.4. Configuración del Entorno	303
15.5. Datos de Ejemplo	303
15.6. Inicialización del Procesador Moondream	304
15.7. Generación de Descripciones de Imágenes	304
15.8. Respuesta Visual a Preguntas	306
15.9. Detección de Objetos y Localización de Puntos	306
15.10. Interfaz Gráfica Interactiva	309
15.11. Análisis de Ventana Deslizante para Rásters Grandes	311
15.12. Segmentación Basada en CLIP	317
15.13. Aplicaciones Prácticas en Observación de la Tierra	319
15.14. Limitaciones y Consideraciones	320
15.15. Puntos Clave	321
15.16. Ejercicios	321
16. Embeddings Satelitales	323
16.1. Introducción	323
16.2. Objetivos de Aprendizaje	323
16.3. ¿Qué Son los Embeddings Satelitales?	324
16.4. Configuración del Entorno	324
16.5. Exploración de Conjuntos de Datos de Embeddings Disponibles	325
16.6. Exploración de Embeddings Basados en Parches	326
16.7. Visualización de Embeddings	328
16.8. Agrupamiento de Embeddings	330
16.9. Búsqueda por Similitud	332
16.10. Entrenamiento de Clasificadores sobre Embeddings	335
16.11. Comparación de Embeddings para Detección de Cambios	339
16.12. Carga de Conjuntos de Datos con TorchGeo	341

16.13.	Trabajo con Embeddings Temporales TESSERA	341
16.14.	Exploración de Embeddings Satelitales AlphaEarth	347
16.15.	Conclusiones Clave	350
16.16.	Ejercicios	351
V:	Plugins de QGIS	353
17.	<i>Configuración del Plugin GeoAI para QGIS</i>	355
17.1.	Introducción	355
17.2.	Objetivos de Aprendizaje	355
17.3.	Descripción General de la Arquitectura del Plugin	355
17.4.	Instalación del Plugin de QGIS	356
17.5.	Configuración de Dependencias	359
17.6.	Configuración del Acceso a SAM 3	363
17.7.	Gestión de Memoria GPU	364
17.8.	Verificación de Actualizaciones del Plugin	365
17.9.	Puntos Clave	366
17.10.	Ejercicios	367
18.	<i>Segmentación de Árboles en QGIS</i>	369
18.1.	Introducción	369
18.2.	Objetivos de Aprendizaje	369
18.3.	Descripción General del Panel de Segmentación de Árboles	370
18.4.	Carga de Modelos Preentrenados	370
18.5.	Ejecución de Predicciones	372
18.6.	Exportación de Resultados	375
18.7.	Consideraciones Prácticas	377
18.8.	Conclusiones Clave	378
18.9.	Ejercicios	378
19.	<i>Segmentación de Agua en QGIS</i>	381
19.1.	Introducción	381
19.2.	Objetivos de aprendizaje	381
19.3.	Descripción general del panel de Segmentación de Agua	382
19.4.	Configuración de los datos de entrada	382
19.5.	Ejecución de la segmentación de agua	384
19.6.	Opciones de salida	385
19.7.	Consideraciones prácticas	386
19.8.	Puntos clave	387
19.9.	Ejercicios	388
20.	<i>Modelos de Visión y Lenguaje en QGIS</i>	389
20.1.	Introducción	389
20.2.	Objetivos de Aprendizaje	390
20.3.	Carga del Modelo Moondream	390
20.4.	Descripción de Imágenes	392
20.5.	Respuesta Visual a Preguntas	394
20.6.	Detección de Objetos	395
20.7.	Localización de Puntos	396
20.8.	Consejos y Limitaciones	398
20.9.	Conclusiones Clave	399
20.10.	Ejercicios	399
21.	<i>Segment Anything en QGIS</i>	401

21.1.	Introducción	401
21.2.	Objetivos de Aprendizaje	401
21.3.	Datos de Ejemplo	401
21.4.	Cargando un Modelo SAM	402
21.5.	Segmentación por Indicación de Texto	404
21.6.	Segmentación Interactiva	405
21.7.	Procesamiento por Lotes	407
21.8.	Exportación de Resultados	408
21.9.	Conclusiones Clave	410
21.10.	Ejercicios	411
22.	<i>Segmentación Semántica en QGIS</i>	413
22.1.	Introducción	413
22.2.	Objetivos de aprendizaje	413
22.3.	Creación de datos de entrenamiento	414
22.4.	Entrenamiento de un modelo	416
22.5.	Ejecución de inferencia	420
22.6.	Solución de problemas comunes	421
22.7.	Conclusiones clave	422
22.8.	Ejercicios	422
23.	<i>Segmentación de Instancias en QGIS</i>	425
23.1.	Introducción	425
23.2.	Objetivos de aprendizaje	425
23.3.	Arquitectura de Mask R-CNN	426
23.4.	Creación de datos de entrenamiento	426
23.5.	Entrenamiento de Mask R-CNN	428
23.6.	Ejecución de inferencia	430
23.7.	Puntos clave	432
23.8.	Ejercicios	432
Referencias		435

Prefacio

Introducción

Estamos en medio de una revolución en la observación de la Tierra. Cada día, los satélites capturan un volumen masivo de datos, incluyendo imágenes multispectrales, radar, LiDAR y más. Aunque esta información contiene las claves para comprender la vulnerabilidad climática y la urbanización, la brecha entre la recolección de datos y su aplicación en el mundo real ha sido un obstáculo importante.

Aquí es donde entra GeoAI.

Como la intersección entre la ciencia geoespacial y la IA, GeoAI está cerrando esta brecha a un ritmo increíble. Los modelos de deep learning ahora pueden identificar cada edificio a gran escala o localizar vehículos individuales en áreas extensas. Los nuevos modelos fundacionales permiten que estas herramientas funcionen en entornos desconocidos con mínima intervención humana. Además, los modelos de visión-lenguaje y los agentes autónomos están permitiendo a los analistas consultar imágenes y gestionar flujos de trabajo mediante comandos simples. Las tareas de digitalización manual que antes tomaban meses ahora se completan en cuestión de minutos.

Este libro, “*GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI*” es tu guía práctica para esta revolución. Está construido sobre una premisa simple: la mejor manera de aprender GeoAI es practicándolo. En lugar de detenerse en teoría abstracta, cada capítulo pone herramientas reales en tus manos, desde preparar conjuntos de datos de entrenamiento y ejecutar modelos de deep learning hasta visualizar e interpretar tus resultados de forma interactiva. El código es real, los datos son reales y los problemas reflejan lo que los profesionales encuentran cada día.

El ecosistema de Python para GeoAI ha madurado considerablemente. Bibliotecas como PyTorch, torchgeo y segment-geospatial traen el deep learning de vanguardia a los profesionales geoespaciales, mientras que paquetes como [leafmap](#) y [geoai](#) proporcionan interfaces de alto nivel que hacen accesibles flujos de trabajo complejos. Las plataformas de computación en la nube y la aceleración por GPU han reducido la barrera para entrenar y desplegar modelos a gran escala. En conjunto, estos avances significan que un investigador con una computadora portátil ahora puede lograr lo que antes requería un equipo de especialistas y una sala llena de servidores.

Nuestro recorrido comienza con los fundamentos: comprender los formatos de datos geoespaciales, configurar un entorno de deep learning y dominar la visualización interactiva. Luego cubrimos el trabajo esencial de adquirir imágenes satelitales y preparar conjuntos de datos de entrenamiento. A partir de ahí, avanzamos a través de las tareas principales de IA que definen la teledetección moderna: reconocimiento de imágenes, detección de objetos, segmentación semántica, segmentación de instancias, traducción de imágenes, detección de cambios y regresión a nivel de píxel. Después exploramos la frontera de los modelos fundacionales, incluyendo el Segment Anything Model (SAM), modelos de visión-lenguaje y embeddings satelitales. Finalmente, una sección dedicada a los plugins de QGIS lleva estas capacidades de IA a un entorno de SIG de escritorio familiar, habilitando flujos de trabajo sofisticados sin escribir código.

Ya sea que seas un profesional de SIG que busca integrar la IA en sus flujos de trabajo, un científico de datos curioso sobre aplicaciones geoespaciales, un investigador que empuja los límites de la observación de la Tierra, o un estudiante que inicia una carrera en la intersección de la geografía y el machine learning, este libro te equipará con el conocimiento y las habilidades para convertir imágenes satelitales en conocimiento.

El futuro del análisis geoespacial es inteligente, automatizado y accesible. Construyámoslo juntos.

Para quién es este libro

Este libro está diseñado para cualquier persona que quiera aplicar inteligencia artificial a datos geoespaciales. Si alguna vez has mirado una imagen satelital preguntándote cómo extraer edificios, carreteras o cobertura del suelo automáticamente, o si has entrenado modelos de deep learning pero te ha costado aplicarlos a datos geográficos con proyecciones, coordenadas y archivos de gran tamaño, este libro es para ti.

Encontrarás el mayor valor si eres

Un profesional de SIG listo para ir más allá de la digitalización manual y la interpretación visual. Dominas QGIS o ArcGIS y comprendes los conceptos de análisis espacial, pero quieres aprovechar el deep learning para automatizar la extracción de entidades, clasificar la cobertura del suelo a gran escala o detectar cambios en series temporales de imágenes.

Un científico o investigador en teledetección que trabaja con imágenes satelitales o aéreas. Comprendes las bandas espectrales, la resolución espacial y el preprocesamiento de imágenes, pero necesitas un puente práctico hacia las técnicas modernas de IA, desde entrenar modelos de segmentación hasta aplicar modelos fundacionales como SAM a tus áreas de estudio.

Un científico de datos o ingeniero de machine learning con experiencia en deep learning que quiere aplicar sus habilidades a problemas geoespaciales. Te sientes cómodo con PyTorch o TensorFlow y comprendes las CNN y los transformers, pero necesitas orientación sobre los desafíos únicos de los datos geográficos: sistemas de referencia de coordenadas, tiling de rásters grandes, manejo de imágenes multibanda y georreferenciación de resultados de modelos.

Un estudiante de posgrado o investigador en inicio de carrera en geografía, ciencias ambientales, planificación urbana, ecología o un campo relacionado. Tu investigación involucra datos espaciales y quieres incorporar métodos de IA de vanguardia en tu tesis o publicaciones mientras desarrollas habilidades cada vez más demandadas.

Un desarrollador de software que construye aplicaciones geoespaciales que requieren análisis inteligente. Necesitas integrar extracción de entidades, clasificación o detección de cambios potenciada por IA en aplicaciones web, APIs o pipelines automatizados, y quieres comprender el flujo de trabajo completo desde el entrenamiento del modelo hasta el despliegue.

Prerrequisitos esenciales

Debes sentirte cómodo con:

- **Programación en Python:** variables, funciones, clases e importación de bibliotecas (no se requiere experiencia avanzada en Python)
- **Análisis básico de datos:** trabajo con datos tabulares, filtrado, agregación y graficación
- **Conceptos geoespaciales fundamentales:** comprender que los datos tienen una ubicación, qué son los datos ráster y vectoriales, y familiaridad básica con sistemas de coordenadas
- **Nociones básicas de línea de comandos:** navegar directorios, ejecutar scripts e instalar paquetes

Conocimiento útil (pero no obligatorio)

- Experiencia con frameworks de deep learning (PyTorch, TensorFlow)
- Familiaridad con conceptos de teledetección (bandas espectrales, resolución espacial, clasificación de imágenes)

- Exposición previa a bibliotecas geoespaciales de Python (rasterio, geopandas, leafmap)
- Comprensión de los fundamentos de machine learning (entrenamiento vs. inferencia, sobreajuste, métricas de evaluación)

Si eres nuevo en la programación geoespacial con Python

Si eres nuevo en la programación geoespacial con Python, el siguiente libro proporciona una excelente introducción tanto a los conceptos fundamentales de SIG como a la programación en Python:

Wu, Q. (2025). *Introduction to GIS Programming: A Practical Python Guide to Open Source Geospatial Tools*. Independently published. PDF edition ISBN 9798993859712; Print edition ISBN 979-8286979455. Available at gispro.gishub.org.

Para quienes estén interesados en la gestión de datos espaciales y analítica geoespacial basada en SQL, el libro complementario ofrece una guía completa:

Wu, Q. (2025). *Spatial Data Management with DuckDB*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859705; Print edition ISBN 979-8274710572. Available at duckdb.gishub.org.

Contenido del libro

Este libro ofrece un recorrido estructurado desde los fundamentos geoespaciales hasta aplicaciones de GeoAI listas para producción, equipándote con habilidades prácticas a través de ejemplos prácticos en cada paso. Cada capítulo se construye sobre el anterior, expandiendo progresivamente tu capacidad para aplicar IA a problemas geoespaciales del mundo real.

Parte I: Fundamentos (*Capítulos 1–3*)

Establece el conocimiento esencial y las herramientas que sustentan todo el contenido posterior:

- **Capítulo 1: Introducción a GeoAI** proporciona una visión general completa del panorama de GeoAI: qué es, por qué importa y cómo el deep learning ha transformado el análisis geoespacial. Explorarás las tareas clave de IA en teledetección, revisarás el ecosistema de Python para GeoAI y comprenderás hacia dónde se dirigen los modelos fundacionales y los agentes de IA.
- **Capítulo 2: Configuración del entorno** te guía a través de la configuración de un entorno de desarrollo completo para GeoAI. Desde la instalación de Python y la gestión de paquetes con conda hasta la configuración de aceleración GPU con CUDA y PyTorch, este capítulo asegura que tengas una base sólida y reproducible para todo el trabajo práctico posterior.
- **Capítulo 3: Formatos de datos geoespaciales** cubre los formatos de datos que encontrarás a lo largo del libro, incluyendo formatos ráster como GeoTIFF y Cloud Optimized GeoTIFF (COG), formatos vectoriales como GeoJSON y GeoParquet, y formatos especializados para deep learning como las anotaciones COCO y Pascal VOC. Aprenderás a leer, escribir y convertir entre formatos usando Python.

Al final de la Parte I, tendrás un entorno de deep learning completamente configurado y una comprensión sólida de los formatos de datos y conceptos necesarios para trabajar con GeoAI.

Parte II: Adquisición y preparación de datos (*Capítulos 4–6*)

Domina el trabajo crítico, pero frecuentemente subestimado, de obtener y preparar datos geoespaciales para IA:

- **Capítulo 4: Descarga de datos de teledetección** te enseña cómo acceder programáticamente a imágenes satelitales, datos de elevación y otros conjuntos de datos geoespaciales desde fuentes como Google Earth Engine, Microsoft Planetary Computer y diversos portales de datos abiertos. Aprenderás a buscar, filtrar y descargar datos para tus áreas de estudio de manera eficiente.
- **Capítulo 5: Mapeo interactivo y visualización** presenta herramientas de visualización potentes para explorar datos geoespaciales de forma interactiva. Usando leafmap y otras bibliotecas, crearás mapas interactivos, superpondrás imágenes satelitales, visualizarás predicciones de modelos y construirás narrativas visuales convincentes. Estas habilidades son esenciales tanto para el análisis exploratorio como para la comunicación de resultados.
- **Capítulo 6: Creación de datos de entrenamiento** aborda uno de los pasos más importantes en cualquier pipeline de IA: la preparación de conjuntos de datos de entrenamiento de alta calidad. Aprenderás a crear conjuntos de datos etiquetados para tareas de segmentación, detección y clasificación, incluyendo estrategias de anotación y cómo dividir imágenes satelitales grandes en chips de entrenamiento.

Al final de la Parte II, podrás adquirir imágenes satelitales de múltiples fuentes, visualizarlas interactivamente y preparar conjuntos de datos de entrenamiento bien estructurados listos para modelos de deep learning.

Parte III: Tareas principales de IA (*Capítulos 7–13*)

Sumérgete en las tareas fundamentales de IA que definen el análisis geoespacial moderno:

- **Capítulo 7: Reconocimiento de imágenes** introduce el deep learning para clasificar imágenes completas. Aprenderás a construir modelos de clasificación de imágenes que identifiquen tipos de escenas, categorías de uso del suelo y características geográficas a partir de imágenes satelitales y aéreas.
- **Capítulo 8: Detección de objetos** te enseña a localizar y clasificar objetos individuales en imágenes geoespaciales. Desde detectar edificios y vehículos hasta identificar árboles y paneles solares, trabajarás con arquitecturas como Faster R-CNN y YOLO adaptadas para teledetección.
- **Capítulo 9: Segmentación semántica** cubre la clasificación a nivel de píxel, asignando una etiqueta de clase a cada píxel de una imagen. Entrenarás modelos para delinear entidades como cuerpos de agua, vegetación y áreas construidas a partir de imágenes satelitales, aprendiendo arquitecturas como U-Net y DeepLabV3+ en el proceso.
- **Capítulo 10: Segmentación de instancias** combina detección y segmentación, produciendo límites precisos para cada objeto individual. Aprenderás a distinguir entidades superpuestas, como huellas de edificios individuales en áreas urbanas densas, usando modelos como Mask R-CNN.
- **Capítulo 11: Traducción de imágenes** aplica IA para transformar imágenes entre dominios, incluyendo superresolución, traducción entre sensores y eliminación de nubes. Entrenarás modelos con imágenes satelitales multiespectrales y aprenderás a generar salidas de mayor resolución a partir de entradas de menor resolución.
- **Capítulo 12: Detección de cambios** aborda el desafío de identificar qué ha cambiado entre imágenes capturadas en diferentes momentos. Desde la expansión urbana y la deforestación hasta la evaluación de daños post-desastre, aprenderás enfoques tanto tradicionales como de deep learning para el análisis temporal.
- **Capítulo 13: Regresión a nivel de píxel** va más allá de la clasificación para predecir valores continuos para cada píxel, como altura del dosel, biomasa, humedad del suelo o densidad de población. Entrenarás modelos de regresión con imágenes satelitales y aprenderás estrategias de evaluación específicas para predicciones continuas.

Al final de la Parte III, tendrás experiencia práctica con todas las tareas principales de GeoAI, comprenderás cuándo aplicar cada enfoque y podrás entrenar y evaluar modelos para tus propias aplicaciones geoespaciales.

Parte IV: Modelos fundacionales y embeddings satelitales (*Capítulos 14–16*)

Explora la vanguardia de GeoAI, donde los modelos fundacionales preentrenados están redefiniendo lo que es posible:

- **Capítulo 14: Segment Anything para datos geoespaciales** presenta el Segment Anything Model (SAM) y su aplicación a imágenes geoespaciales. Usando el paquete [segment-geospatial](#), aprenderás a segmentar imágenes satelitales con indicaciones mínimas, extrayendo edificios, campos agrícolas, cuerpos de agua y más sin entrenamiento específico para la tarea.
- **Capítulo 15: Modelos de visión-lenguaje** explora modelos que conectan la comprensión visual y textual. Aprenderás a consultar imágenes satelitales usando lenguaje natural, generar descripciones para escenas geoespaciales y aprovechar modelos multimodales para tareas como respuesta a preguntas visuales sobre datos de teledetección.
- **Capítulo 16: Embeddings satelitales** explora el ecosistema en rápido crecimiento de conjuntos de datos de embeddings satelitales precalculados a partir de modelos fundacionales. Aprenderás a explorar, cargar y visualizar embeddings de nueve conjuntos de datos incluyendo Clay, TESSERA y AlphaEarth de Google, realizar búsqueda por similitud y clustering, y entrenar clasificadores ligeros sobre vectores de embeddings.

Al final de la Parte IV, comprenderás cómo los modelos fundacionales están transformando GeoAI y estarás equipado para aplicar estas técnicas avanzadas a tu propia investigación y proyectos.

Parte V: Plugins de QGIS (*Capítulos 17–23*)

Lleva las capacidades de GeoAI al entorno de escritorio SIG familiar de QGIS a través del plugin GeoAI:

- **Capítulo 17: Configuración del plugin GeoAI para QGIS** te guía a través de la instalación y configuración del plugin GeoAI para QGIS. Usarás el instalador de dependencias integrado o configurarás un entorno Pixi con PyTorch y soporte CUDA, instalarás el plugin y aprenderás a gestionar la memoria GPU para ejecutar modelos grandes de IA dentro de QGIS.
- **Capítulo 18: Segmentación de árboles en QGIS** demuestra el panel de Segmentación de Árboles para la detección de copas arbóreas y detección de objetos ecológicos. Cargarás modelos preentrenados para árboles, aves, ganado, nidos y árboles muertos, configurarás parámetros de predicción para imágenes individuales y tiles grandes, y exportarás resultados en formatos vectorial, ráster y de datos de entrenamiento.
- **Capítulo 19: Segmentación de agua en QGIS** cubre el panel de Segmentación de Agua para la detección automatizada de cuerpos de agua usando OmniWaterMask. Configurarás el orden de bandas para diferentes sensores, ajustarás parámetros de inferencia basada en parches, integrarás datos de OpenStreetMap para refinamiento y exportarás máscaras de agua como datos ráster y vectoriales.
- **Capítulo 20: Modelos de visión-lenguaje en QGIS** demuestra el panel Moondream VLM para la interacción en lenguaje natural con imágenes geoespaciales. Generarás descripciones de imágenes, harás preguntas sobre las entidades visibles, detectarás objetos con cuadros delimitadores y localizarás entidades con marcadores de puntos.
- **Capítulo 21: Segment Anything en QGIS** demuestra el panel de Segment Anything para segmentación interactiva y automatizada. Cargarás SAM 3, segmentarás objetos usando indicaciones de

texto, realizarás segmentación interactiva con indicaciones de puntos y cuadros, procesarás lotes de entidades y exportarás resultados georreferenciados.

- **Capítulo 22: Segmentación semántica en QGIS** cubre el flujo de trabajo completo de entrenamiento a inferencia para clasificación a nivel de píxel sin escribir código. Crearás conjuntos de datos de entrenamiento, elegirás entre arquitecturas como U-Net, DeepLabV3+ y SegFormer, entrenarás modelos personalizados y ejecutarás inferencia con vectorización y suavizado.
- **Capítulo 23: Segmentación de instancias en QGIS** demuestra la detección de objetos a nivel de instancia usando Mask R-CNN. Crearás datos de entrenamiento de instancias en formato PASCAL_VOC, entrenarás modelos para detectar y delinear objetos individuales, y usarás la salida por objeto para conteo, medición y análisis espacial.

Al final de la Parte V, podrás ejecutar flujos de trabajo sofisticados de GeoAI directamente dentro de QGIS, haciendo que el análisis potenciado por IA sea accesible para los profesionales de SIG sin requerir experiencia en programación Python.

Temas transversales

- **Práctica directa:** Cada concepto está acompañado de ejemplos de código ejecutables usando datos geoespaciales reales.
- **Herramientas de código abierto:** Todo el software utilizado en el libro es libre y de código abierto, asegurando accesibilidad y reproducibilidad.
- **Flujos de trabajo escalables:** Técnicas que funcionan en una computadora portátil y escalan a infraestructura en la nube.
- **Aplicaciones del mundo real:** Ejemplos extraídos del monitoreo ambiental, analítica urbana, agricultura y respuesta a desastres.
- **Reproducibilidad:** Todo el código y los datos están disponibles en GitHub, permitiéndote reproducir cada resultado del libro.

Cómo aprovechar al máximo este libro

Para maximizar tu experiencia de aprendizaje con este libro, considera las siguientes recomendaciones:

Configura tu entorno temprano: Sigue el Capítulo 2 cuidadosamente para configurar tu entorno Python con soporte GPU. Muchas tareas de GeoAI se benefician significativamente de la aceleración GPU, y un entorno correctamente configurado te ahorrará un tiempo considerable a lo largo del libro. Si no tienes una GPU local, el libro proporciona orientación sobre el uso de plataformas GPU en la nube como Google Colab.

Sigue el código paso a paso: Este libro está diseñado para ser interactivo. No solo leas el código. Escríbelo, ejecútalo y observa los resultados. Modifica parámetros, prueba diferentes conjuntos de datos y experimenta. La comprensión viene con la práctica, y los ejemplos prácticos son el corazón de este libro. Cuando algo no funcione como se esperaba, resiste la tentación de saltar adelante. La depuración es una de las experiencias de aprendizaje más valiosas, y las habilidades de resolución de problemas que desarrolles te servirán a lo largo de tu carrera en GeoAI.

Trabaja los capítulos secuencialmente: Aunque los profesionales experimentados pueden saltar a temas específicos, los capítulos se construyen unos sobre otros. Los conceptos introducidos en capítulos anteriores (configuración del entorno, formatos de datos, técnicas de visualización) se utilizan a lo largo del libro. Si te adelantas, consulta los capítulos anteriores cuando sea necesario.

Usa tus propios datos: Aunque el libro proporciona conjuntos de datos para cada ejemplo, el verdadero aprendizaje ocurre cuando aplicas estas técnicas a datos que te importan. Intenta ejecutar los modelos de segmentación en imágenes de tu área de estudio, o entrena un modelo de detección de objetos con entidades relevantes para tu investigación.

Acepta los errores: Entrenar modelos de deep learning implica iteración. Los modelos no siempre convergerán en el primer intento, las predicciones no siempre serán perfectas y las GPU ocasionalmente se quedarán sin memoria. Estas son oportunidades de aprendizaje. El libro aborda los problemas comunes y las estrategias de depuración, pero desarrollar el instinto para diagnosticar problemas viene con la experiencia.

Construye un proyecto de portafolio: A medida que avances en el libro, identifica un problema geoespacial que te interese y aplica las técnicas que estás aprendiendo. Un proyecto completo, desde la adquisición de datos hasta el entrenamiento del modelo y la visualización, demuestra tus habilidades de forma mucho más efectiva que cualquier certificación.

Mantente actualizado: GeoAI es un campo en rápida evolución. Nuevos modelos fundacionales, arquitecturas y herramientas surgen regularmente. El repositorio de GitHub del libro se actualiza periódicamente con nuevo contenido y ejemplos para continuar tu camino de aprendizaje.

Convenciones utilizadas en este libro

Este libro utiliza varias convenciones para ayudarte a navegar el contenido y comprender los ejemplos de código:

Formato de código: Todo el código Python aparece en fuente monoespaciada dentro de bloques de código. Cuando el código aparece dentro del texto normal, se formatea así. Los nombres de archivos y directorios, nombres de paquetes y nombres de funciones también se formatean en fuente monoespaciada.

Ejemplos de código: La mayoría de los ejemplos de código son completos y ejecutables. Incluyen comentarios que explican los conceptos y técnicas clave que se demuestran. Aquí hay un ejemplo típico usando la biblioteca `leafmap`:

```
import leafmap

m = leafmap.Map(center=[40, -100], zoom=4)
m.add_basemap("Esri.WorldImagery")
m
```

Importación de paquetes: Al inicio de cada capítulo, se listan todas las importaciones necesarias. Los paquetes clave que encontrarás a lo largo del libro incluyen:

- `geoai` - flujos de trabajo de GeoAI de alto nivel (opengeoai.org)
- `leafmap` - visualización geoespacial interactiva (leafmap.org)
- `samgeo` - SAM para datos geoespaciales (samgeo.github.org)
- `torch` / `torchvision` / `torchgeo` - deep learning con PyTorch
- `rasterio` / `geopandas` - lectura y escritura de datos geoespaciales

Figuras y mapas: Los mapas interactivos se renderizan directamente en notebooks de Jupyter. En la edición impresa, se muestran capturas estáticas con descripciones de las funcionalidades interactivas disponibles en la versión en línea.

Descarga de los ejemplos de código

Todos los ejemplos de código y materiales complementarios de este libro están disponibles gratuitamente en GitHub: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book>

Todos los conjuntos de datos de ejemplo están disponibles en Source Cooperative: <https://source.coop/opengeos/geoai>

Para descargar los materiales, puedes usar uno de los siguientes métodos:

- **Clonar el repositorio** (recomendado si tienes Git instalado):

```
$ git clone https://github.com/giswqs/GeoAI-Book.git
```

- **Descargar como ZIP** (si prefieres no usar Git):
 - Visita la página del repositorio en GitHub
 - Haz clic en el botón verde **Code**
 - Selecciona **Download ZIP**
 - Extrae los archivos en tu ubicación preferida
- **Explorar archivos individuales** en línea a través de la interfaz de GitHub o el sitio web del libro en book.opengeoai.org

El repositorio se actualiza regularmente con correcciones, mejoras y ejemplos adicionales. Revísalo periódicamente para actualizaciones, o marca con **star** y **watch** el repositorio en GitHub para recibir notificaciones de cambios.

Si encuentras errores en el código o tienes sugerencias de mejoras, por favor abre un issue o envía un pull request en GitHub. Las contribuciones de la comunidad ayudan a mejorar este recurso para todos.

Tutoriales en video

Complementando el contenido escrito, este libro cuenta con el apoyo de tutoriales en video que recorren conceptos clave y proporcionan demostraciones adicionales:

<https://youtube.com/@giswqs>

Los videos están diseñados para complementar, no reemplazar, el material escrito. Son particularmente útiles para:

- Aprendizajes visuales que se benefician de ver código siendo escrito y ejecutado en tiempo real
- Comprender flujos de trabajo complejos como el entrenamiento e inferencia de modelos a través de guías paso a paso
- Ver cómo abordar problemas geoespaciales y depurar errores comunes
- Aprender consejos y mejores prácticas para trabajar con grandes conjuntos de datos satelitales

Se agregarán tutoriales en video adicionales a medida que el libro evolucione. Suscríbete al canal para estar al tanto del nuevo contenido.

Comunidad y retroalimentación

Agradezco comentarios, preguntas y sugerencias de los lectores. Tus aportes ayudan a mejorar el libro y lo hacen más útil para la comunidad de GeoAI.

Para preguntas y discusiones relacionadas con el libro:

- GitHub Issues: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/issues>
- GitHub Discussions: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/discussions>

Para preguntas específicas sobre paquetes:

- geoai: <https://github.com/opengeos/geoai/issues>
- leafmap: <https://github.com/opengeos/leafmap/issues>
- segment-geospatial: <https://github.com/opengeos/segment-geospatial/issues>

Tipos de retroalimentación particularmente útiles:

- Errores o explicaciones poco claras en el texto o código
- Sugerencias de ejemplos, conjuntos de datos o casos de uso adicionales
- Reportes de problemas de compatibilidad con diferentes sistemas operativos, configuraciones de GPU o versiones de bibliotecas
- Ideas para nuevos temas o técnicas emergentes de GeoAI a cubrir
- Historias de éxito sobre cómo has aplicado las técnicas del libro a tu propio trabajo

Sobre el autor

El Dr. Qiusheng Wu es Profesor Asociado y Director de Estudios de Posgrado en el Departamento de Geografía y Sostenibilidad de la Universidad de Tennessee, Knoxville. También se desempeña como Amazon Scholar. La investigación del Dr. Wu se centra en el avance de la analítica geoespacial de código abierto a través de la computación en la nube y GeoAI, con énfasis en el aprovechamiento de big data geoespacial e inteligencia artificial para estudiar el cambio ambiental, particularmente la dinámica de aguas superficiales e inundación de humedales.

Es el creador y mantenedor de varios paquetes de Python de código abierto ampliamente utilizados, incluyendo [geemap](https://geemap.org)¹ para visualización interactiva de Google Earth Engine, [leafmap](https://leafmap.org)² para mapeo geoespacial versátil, [segment-geospatial](https://samgeo.gishub.org)³ para aplicar el Segment Anything Model a datos geoespaciales, y [geoai](https://opengeoai.org)⁴ para flujos de trabajo de GeoAI de alto nivel. Sus proyectos de código abierto, disponibles a través de la organización [Open Geospatial Solutions](https://github.com/opengeos)⁵ en GitHub, han sido ampliamente adoptados por investigadores, educadores y profesionales en todo el mundo.

El trabajo del Dr. Wu conecta la teledetección, la observación de la Tierra y la inteligencia artificial para hacer que los datos geoespaciales a gran escala sean más accesibles, reproducibles e inteligentes. Es un apasionado de la ciencia abierta y cree que las mejores herramientas para comprender nuestro planeta deben estar disponibles gratuitamente para todos.

Licencia y derechos de autor

Este libro adopta los principios de la ciencia abierta y la educación abierta. Para apoyar la transparencia, el aprendizaje y la reutilización, los **ejemplos de código** de este libro se publican bajo una licencia [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Esto significa que eres libre de copiar, modificar y distribuir el código, incluso con fines comerciales, siempre que se otorgue el crédito apropiado.

¹<https://geemap.org>

²<https://leafmap.org>

³<https://samgeo.gishub.org>

⁴<https://opengeoai.org>

⁵<https://github.com/opengeos>

Por favor atribuye el uso del código citando el libro o enlazando al repositorio de GitHub:

Wu, Q. (2026). *GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859729; Print edition ISBN 979-8253507414. Available at book.opengeoai.org.

Aunque el código está disponible gratuitamente, el **texto, figuras e imágenes** de este libro están **protegidos por derechos de autor** © 2026 por el autor y no pueden ser reproducidos, redistribuidos ni modificados sin permiso explícito. Esto incluye todo el contenido escrito, diagramas personalizados y visualizaciones integradas, salvo que se indique lo contrario.

Si deseas reutilizar o adaptar cualquier material que no sea código de este libro (por ejemplo, para enseñanza, presentaciones o publicaciones), por favor contacta al autor para solicitar permiso.

Este enfoque de licencia dual ayuda a equilibrar el acceso abierto a materiales de aprendizaje con la protección del trabajo creativo original. Gracias por respetar estos términos y apoyar a la comunidad geoespacial de código abierto.

Una guía práctica de inteligencia artificial geoespacial de código abierto

La inteligencia artificial está transformando la forma en que analizamos y comprendemos nuestro planeta. **GeoAI con Python** es la guía práctica definitiva para aplicar técnicas de IA a datos geoespaciales, desde imágenes satelitales y fotografías aéreas hasta conjuntos de datos vectoriales y archivos de observación de la Tierra.

Cada capítulo incluye un cuaderno Jupyter complementario con datos reales, para que puedas seguir los ejemplos y reproducir todos los resultados. Ya seas un profesional de SIG que explora la IA o un científico de datos que trabaja con datos espaciales por primera vez, este libro conecta ambos mundos.

Qiusheng Wu es profesor asociado en la Universidad de Tennessee y Amazon Scholar. Es el creador de varios paquetes de Python geoespacial de código abierto ampliamente utilizados, incluidos geemap, leafmap, segment-geospatial y geoai. Sus proyectos están disponibles en <https://github.com/opengeos>.

Lo que aprenderás

- Descargar y preparar datos de teledetección de NAIP, Sentinel-2 y catálogos STAC
- Entrenar modelos de aprendizaje profundo para segmentación, detección de objetos y clasificación de cobertura terrestre
- Aplicar modelos fundacionales como SAM 3, Moondream y embeddings satelitales a problemas del mundo real
- Crear mapas interactivos y visualizaciones para el análisis geoespacial
- Usar complementos de QGIS para segmentación, entrenamiento, inferencia y modelos de visión-lenguaje



Escanea el código QR para
visitar el sitio web del libro y
descargar los ejemplos de
código en
<https://book.opengeoai.org>

