

Plan de desarrollo

Aplicación Python para simulación estratégica y prevención de incendios forestales

1. Objetivo del proyecto

Desarrollar una aplicación GIS en Python para estudiar escenarios de prevención de incendios forestales sobre cartografía real.

La aplicación permitirá:

- Seleccionar cualquier ubicación de Navarra.
- Cargar y superponer mapas, ortofotos, catastro, líneas de nivel, modelos de elevación y vegetación.
- Dibujar caminos, cortafuegos, zonas de tala y balsas de agua.
- Analizar si estas actuaciones son técnicamente razonables según la pendiente, orientación y accesibilidad.
- Simular la propagación aproximada de un incendio desde uno o varios puntos de ignición.
- Comparar diferentes escenarios preventivos.
- Generar mapas, resultados e informes justificativos.

La aplicación será una herramienta de planificación y análisis offline. No se presentará como un sistema de predicción operativa en tiempo real ni como herramienta para dirigir emergencias activas.

2. Alcance funcional

2.1. Gestión cartográfica

La aplicación deberá soportar:

- KML y KMZ.
- GeoJSON.
- SHP.
- GeoPackage.
- GeoTIFF e imágenes georreferenciadas.
- CSV con coordenadas.
- Modelos digitales de elevación.
- Curvas o líneas de nivel.
- Capas catastrales.
- Servicios WMS, WMTS, WFS y WCS.
- Enlaces o coordenadas procedentes de Google Maps o Google Earth.

IDENA dispone de servicios geográficos interoperables como WMS, WMTS, WFS y servicios de coberturas, lo que permite utilizar ortofotos, cartografía y otras capas oficiales de Navarra dentro de una aplicación GIS.

2.2. Herramientas de diseño

El usuario podrá dibujar directamente sobre el mapa:

- Caminos forestales.
- Vías de evacuación o acceso.
- Cortafuegos.
- Franjas de reducción de combustible.
- Zonas de tala controlada.
- Balsas de agua.
- Puntos de captación.
- Zonas restringidas.
- Puntos de ignición.
- Edificios, infraestructuras o activos que proteger.

Cada elemento tendrá atributos configurables, por ejemplo:

- Anchura.
- Tipo.
- Capacidad.
- Estado.
- Prioridad.
- Coste estimado.
- Comentarios técnicos.
- Fecha del escenario.

2.3. Análisis del terreno

El sistema calculará, a partir del modelo de elevación:

- Altitud.
- Pendiente.
- Orientación de la ladera.
- Curvatura.
- Rugosidad.
- Crestas.
- Vaguadas.
- Dirección de escorrentía.
- Acumulación de agua.
- Exposición respecto al viento.
- Diferencias de altura entre puntos.

Estos resultados se utilizarán tanto en la simulación del fuego como en la validación de caminos, cortafuegos y balsas.

2.4. Simulación de incendios

La simulación utilizará como variables principales:

- Punto o línea de ignición.
- Dirección del viento.

- Velocidad del viento.
- Pendiente.
- Orientación del terreno.
- Tipo de vegetación o combustible.
- Humedad.
- Barreras naturales.
- Caminos.
- Cortafuegos.
- Zonas taladas.
- Áreas no combustibles.
- Duración del escenario.

La salida incluirá:

- Evolución visual del incendio.
- Perímetros por intervalo de tiempo.
- Mapa del tiempo estimado de llegada.
- Dirección dominante de propagación.
- Área afectada.
- Zonas calientes.
- Infraestructuras expuestas.
- Comparación entre escenarios.

3. Solución técnica recomendada

3.1. Aplicación de escritorio basada en QGIS

Para la primera versión se recomienda desarrollar un complemento de QGIS utilizando:

- Python.
- PyQGIS.
- PyQt o PySide.
- GDAL.
- Rasterio.
- GeoPandas.
- Shapely.
- NumPy.

QGIS dispone oficialmente de una API Python y de una arquitectura para desarrollar complementos, cargar capas, ejecutar algoritmos espaciales y crear interfaces personalizadas.

Esta solución reduce considerablemente el trabajo necesario para desarrollar desde cero:

- El visor cartográfico.
- La edición de geometrías.
- La selección de sistemas de coordenadas.
- La gestión de capas.

- La simbología.
- La impresión de mapas.
- Los algoritmos GIS básicos.

La aplicación podría entregarse inicialmente como complemento privado de QGIS y, posteriormente, empaquetarse como una aplicación de escritorio independiente.

3.2. Separación del motor y la interfaz

La lógica científica no debe programarse directamente dentro de las ventanas de QGIS.

La estructura recomendada es:

```
wildfire_prevention/
├── qgis_plugin/
│   ├── dialogs/
│   ├── map_tools/
│   ├── panels/
│   └── controllers/
├── data_engine/
│   ├── idena_client/
│   ├── file_import/
│   ├── reprojection/
│   ├── raster_processing/
│   └── data_validation/
├── terrain_engine/
│   ├── slope/
│   ├── aspect/
│   ├── hydrology/
│   ├── accessibility/
│   └── network_analysis/
├── fire_engine/
│   ├── spread_models/
│   ├── fuel_models/
│   ├── wind_models/
│   └── simulation_runner/
├── intervention_engine/
│   ├── road_validation/
│   ├── firebreak_validation/
│   ├── pond_validation/
│   └── optimization/
├── reporting/
├── api/
└── tests/
```

Esta separación permitirá conectar el mismo motor en el futuro con:

- Una aplicación web.
- Una API REST.
- Un dashboard.
- Procesos automáticos.
- Herramientas CAD.
- Otros sistemas GIS.

4. Estrategia para Google Maps y Google Earth

Google Maps puede utilizarse para:

- Buscar ubicaciones.
- Introducir coordenadas.
- Visualizar un mapa de referencia.
- Abrir la ubicación seleccionada.
- Interpretar enlaces compartidos por el usuario.

Sin embargo, no debe utilizarse como fuente principal de datos offline ni como base para cálculos geográficos.

Las políticas de Google Maps restringen la descarga, almacenamiento y caché de mosaicos, salvo en condiciones limitadas. Por ello, los cálculos y proyectos offline deben apoyarse en fuentes oficiales descargables como IDENA, Catastro, CNIG, PNOA o Copernicus.

La solución recomendada es:

```
graph TD; A[Google Maps/Earth] --> B[Búsqueda y localización de la zona]; B --> C[Conversión a coordenadas o polígono]; C --> D[Descarga de datos oficiales]; D --> E[Análisis GIS y simulación offline];
```

5. Flujo de trabajo del usuario

Paso 1. Crear un proyecto

El usuario introduce:

- Nombre del proyecto.

- Descripción.
- Ubicación.
- Sistema de coordenadas.
- Resolución deseada.
- Carpeta donde se guardará el proyecto.

Paso 2. Seleccionar la zona de estudio

La zona podrá definirse mediante:

- Dibujo de un polígono.
- Municipio o parcela.
- Coordenadas.
- Punto y radio.
- KML o KMZ.
- Enlace de Google Maps.
- Archivo catastral.
- GeoJSON o SHP.

Para Navarra se utilizará normalmente:

```
ETRS89 / UTM zona 30N  
EPSG:25830
```

Paso 3. Obtener los datos

La aplicación mostrará un asistente para seleccionar:

- Ortofoto.
- Modelo digital de elevación.
- Líneas de nivel.
- Vegetación.
- Catastro.
- Caminos.
- Hidrografía.
- Edificios.
- Espacios protegidos.
- Infraestructuras.
- Capas aportadas por el usuario.

Después realizará automáticamente:

1. Descarga o conexión a las capas.
2. Recorte por la zona seleccionada.
3. Reproyección.
4. Comprobación de geometrías.
5. Alineación de rásteres.

6. Gestión de valores sin datos.

7. Creación del paquete local.

Paso 4. Preparar el terreno

El sistema calculará:

- Pendiente.
- Orientación.
- Relieve sombreado.
- Escorrentía.
- Vaguadas.
- Crestas.
- Zonas de acumulación.
- Rugosidad.
- Accesibilidad.

El modelo de elevación original puede mantenerse a alta resolución para estudiar caminos y balsas. Para la simulación del incendio se generará una cuadrícula de menor resolución con el fin de mejorar el rendimiento.

Paso 5. Preparar la vegetación

La capa de vegetación deberá transformarse en una capa de combustible.

Ejemplo:

```
Uso o vegetación original
    ↓
Clasificación forestal
    ↓
Tipo de combustible
    ↓
Carga y continuidad
    ↓
Parámetros para la simulación
```

Esta correspondencia deberá ser configurable y revisada por un especialista forestal.

Paso 6. Diseñar actuaciones

El usuario dibujará:

- Caminos.
- Cortafuegos.
- Zonas de tala.
- Balsas.
- Puntos de acceso.
- Áreas protegidas.

Mientras se dibuja, el sistema mostrará advertencias sobre:

- Exceso de pendiente.
- Cruce de cauces.
- Tramos de difícil acceso.
- Intersecciones con restricciones.
- Caminos sin salida.
- Balsas en terrenos inadecuados.
- Cortafuegos mal orientados o desconectados.

Paso 7. Configurar el incendio

El usuario seleccionará:

- Punto de inicio.
- Fecha y hora de referencia.
- Velocidad del viento.
- Dirección del viento.
- Humedad.
- Duración.
- Tipo de simulación.
- Intervalo de visualización.

AEMET OpenData ofrece una API REST para acceder y reutilizar información meteorológica y climatológica, mediante una clave API. Esta integración puede utilizarse para rellenar escenarios meteorológicos, aunque el usuario también deberá poder introducir valores manualmente.

Paso 8. Ejecutar y visualizar

La simulación se ejecutará como un proceso independiente para no bloquear la interfaz.

La aplicación mostrará:

- Barra de progreso.
- Tiempo simulado.
- Celdas afectadas.
- Perímetros.
- Zonas calientes.
- Estadísticas acumuladas.
- Leyenda y escala temporal.

Paso 9. Comparar escenarios

Por ejemplo:

Escenario A: situación actual

Escenario B: nuevo cortafuego

Escenario C: cortafuego + tala controlada

Escenario D: cortafuego + camino + balsa

La aplicación comparará:

- Área afectada.
- Tiempo de propagación.
- Activos alcanzados.
- Intensidad estimada.
- Tiempo de llegada a puntos críticos.
- Efectividad de cada actuación.

Paso 10. Generar resultados

El usuario podrá exportar:

- KML o KMZ.
- GeoJSON.
- SHP o GeoPackage.
- GeoTIFF.
- CSV.
- Imagen.
- Informe PDF.
- Paquete completo del proyecto.

6. Motor de propagación

6.1. Fase 1: simulación estratégica simplificada

Para la primera fase se recomienda un modelo de autómata celular o de tiempo de llegada.

Cada celda tendrá información sobre:

Altitud
Pendiente
Orientación
Combustible
Humedad
Viento
Estado de la celda
Barreras

Estados posibles:

```
Sin quemar  
Ardiendo  
Quemada  
No combustible  
Tratada  
Cortafuego  
Zona de agua
```

La propagación hacia una celda vecina dependerá de una función como:

```
spread_rate = calculate_spread_rate(  
    fuel_type=fuel_type,  
    slope=slope,  
    spread_direction=direction,  
    wind_speed=wind_speed,  
    wind_direction=wind_direction,  
    moisture=moisture,  
    barrier=barrier  
)
```

El modelo estará orientado a:

- Comparar escenarios.
- Detectar corredores de propagación.
- Identificar zonas calientes.
- Estudiar la influencia de actuaciones preventivas.

No estará orientado a predecir exactamente un incendio real.

6.2. Fase 2: modelo Rothermel

El diseño permitirá sustituir el modelo simplificado por un motor basado en Rothermel.

Rothermel es un modelo matemático utilizado para calcular la velocidad e intensidad de propagación del fuego superficial según combustible, viento, humedad y pendiente. Normalmente se combina con otros modelos y algoritmos espaciales para representar el crecimiento del perímetro.

La implementación avanzada necesitará:

- Modelos de combustible calibrados.
- Humedad de combustible vivo y muerto.
- Viento a media llama.
- Pendiente.
- Dirección de propagación.
- Intensidad de reacción.
- Longitud de llama.
- Velocidad de propagación.

- Algoritmo de expansión espacial.

Arquitectura propuesta:

```
SpreadModel
├── SimplifiedCellularModel
├── RothermelSurfaceModel
├── TravelTimeModel
└── ExternalModelAdapter
```

La selección del modelo de combustible será especialmente importante, ya que estos parámetros influyen directamente en los resultados de Rothermel.

6.3. Viento sobre terreno complejo

En la primera fase se utilizará:

- Dirección uniforme.
- Velocidad uniforme.
- Valores configurables por el usuario.

Posteriormente se podrá incorporar un campo de viento variable.

WindNinja está diseñado para calcular campos de viento espacialmente variables en terrenos complejos y puede integrarse como módulo avanzado.

Evolución propuesta:

```
Fase 1:
Viento uniforme.

Fase 1 mejorada:
Viento por franjas horarias.

Fase 2:
Campo de viento influenciado por la orografía.

Fase avanzada:
Integración meteorológica y WindNinja.
```

7. Validación de caminos

Cuando se dibuje un camino, la aplicación analizará:

- Pendiente longitudinal.
- Pendiente transversal.

- Cambios bruscos de nivel.
- Longitud.
- Curvatura.
- Anchura.
- Cruces de agua.
- Intersecciones con parcelas.
- Acceso desde la red existente.
- Existencia de salida alternativa.
- Proximidad a zonas de riesgo.

Detección de fondo de saco

La red de caminos se transformará en un grafo:

```
Intersecciones = nodos  
Tramos = conexiones
```

Se detectarán:

- Extremos sin conexión.
- Componentes aislados.
- Caminos con una única entrada.
- Ausencia de rutas alternativas.
- Distancia hasta la vía principal.

QGIS incluye herramientas de análisis de redes y cálculo de caminos mínimos, que pueden utilizarse como base para esta funcionalidad.

Los límites técnicos no estarán fijados permanentemente en el código. Se utilizarán perfiles configurables:

```
Camino ligero  
Camino forestal  
Acceso de emergencia  
Acceso para vehículo pesado
```

8. Validación de cortafuegos

La aplicación evaluará:

- Pendiente máxima.
- Orientación respecto al viento dominante.
- Anchura.
- Longitud.
- Vegetación atravesada.

- Continuidad.
- Accesibilidad.
- Conexión con caminos.
- Presencia de barreras naturales.
- Parcelas y restricciones afectadas.
- Posibilidad de ser rodeado por el fuego.

La eficacia se analizará comparando:

Simulación sin cortafuego
contra
Simulación con cortafuego

Los resultados mostrarán:

- Reducción del área afectada.
- Retraso de la propagación.
- Cambio en la dirección.
- Reducción de activos expuestos.
- Puntos débiles del trazado.

9. Validación de balsas

En la primera fase el usuario seleccionará manualmente una ubicación y el sistema la evaluará según:

- Pendiente.
- Superficie disponible.
- Accesibilidad.
- Proximidad a caminos.
- Distancia a zonas de riesgo.
- Posible captación de agua.
- Cuenca de esorrentía.
- Parcelas afectadas.
- Restricciones ambientales.
- Exposición al incendio.
- Cobertura respecto a otras balsas.

El sistema generará una clasificación como:

Apta
Apta con condiciones
Poco recomendable
No recomendable

La herramienta no sustituirá:

- Estudios geotécnicos.
- Cálculos estructurales.
- Permisos de captación.
- Evaluaciones ambientales.
- Aprobación profesional.

10. Recomendaciones automáticas de la Fase 2

10.1. Caminos y cortafuegos

El sistema generará una superficie de coste:

```
Coste total =  
  pendiente  
+ rugosidad  
+ longitud  
+ cruce de cauces  
+ impacto ambiental  
+ afección catastral  
+ riesgo de aislamiento  
- uso de caminos existentes  
- utilidad preventiva
```

Después podrá proponer varios trazados:

- Trazado más corto.
- Trazado con menor pendiente.
- Trazado con menor impacto.
- Trazado con mejor acceso.
- Trazado con mayor utilidad preventiva.

Las recomendaciones deberán presentarse como alternativas explicadas, no como una única solución definitiva.

10.2. Balsas

Para las balsas se aplicará un análisis multicriterio:

```
Puntuación =  
  accesibilidad  
+ disponibilidad potencial de agua  
+ cobertura territorial  
+ proximidad a áreas críticas  
+ adecuación topográfica  
- pendiente
```

- restricciones
- coste de acceso
- exposición al fuego

La aplicación mostrará:

- Ubicaciones candidatas.
- Puntuación.
- Factores positivos.
- Factores negativos.
- Capas utilizadas.
- Nivel de confianza.

11. Almacenamiento

Proyecto local

Se recomienda utilizar:

- GeoPackage para datos vectoriales.
- GeoTIFF para rásteres.
- JSON para configuración.
- SQLite para escenarios y resultados.
- Carpeta de archivos adjuntos.

Ejemplo:

```
project_name/  
├─ project.json  
├─ project.gpkg  
├─ rasters/  
│   ├── dem.tif  
│   ├── slope.tif  
│   ├── aspect.tif  
│   ├── fuel.tif  
│   └─ arrival_time.tif  
├─ scenarios/  
├─ reports/  
└─ exports/
```

Versión servidor

Cuando sea necesario compartir proyectos:

- PostgreSQL.
- PostGIS.

- FastAPI.
- Almacenamiento de objetos.
- Cola de procesamiento.
- Autenticación por usuarios.

12. API para integraciones

El motor podrá exponerse posteriormente mediante FastAPI.

Endpoints orientativos:

```
POST /projects
POST /projects/{id}/area
POST /projects/{id}/layers/import
POST /projects/{id}/terrain/process
POST /projects/{id}/interventions
POST /projects/{id}/scenarios
POST /scenarios/{id}/simulate
GET /simulations/{id}/status
GET /simulations/{id}/results
GET /simulations/{id}/export
POST /simulations/compare
```

La simulación se ejecutará en segundo plano mediante workers, pero el sistema seguirá siendo una herramienta de ejecución bajo demanda, no un monitor de incendios en tiempo real.

13. Fases de desarrollo

Fase 0: prototipo y validación técnica

Objetivos:

- Seleccionar una zona piloto de Navarra.
- Conectar con IDENA.
- Importar KML y KMZ.
- Procesar un DEM.
- Calcular pendiente y orientación.
- Preparar una capa básica de combustible.
- Ejecutar una propagación simple.
- Validar rendimiento y resolución.

Entregable:

Un prototipo que carga una ubicación real y muestra una simulación básica.

Fase 1A: gestión GIS

Entregables:

- Creación de proyectos.
- Selección de ubicación.
- Conexión con IDENA.
- Importación de formatos.
- Reproyección.
- Recorte.
- Descarga offline.
- Gestión de capas.
- Validación de archivos.

Fase 1B: diseño de actuaciones

Entregables:

- Dibujo y edición.
- Caminos.
- Cortafuegos.
- Talas.
- Balsas.
- Puntos de ignición.
- Guardado de alternativas.
- Herramientas de medición.

Fase 1C: análisis del terreno

Entregables:

- Pendiente.
- Orientación.
- Altitud.
- Escorrentía.
- Accesibilidad.
- Conectividad.
- Fondos de saco.
- Validación de trazados.
- Alertas configurables.

Fase 1D: simulación estratégica

Entregables:

- Motor celular.
- Viento.
- Pendiente.
- Combustible.

- Humedad.
- Barreras.
- Animación.
- Perímetros.
- Tiempo de llegada.
- Zonas calientes.
- Comparación de escenarios.

Fase 1E: resultados e informes

Entregables:

- Informe técnico.
- Mapas.
- Estadísticas.
- Exportación KML/KMZ.
- GeoJSON.
- GeoPackage.
- CSV.
- Proyecto offline.
- Manual de usuario.

Fase 2: ampliación científica y automatización

Entregables:

- Motor Rothermel.
- Viento variable.
- Integración WindNinja.
- Meteorología por franjas.
- Modelos de combustible avanzados.
- DXF y evaluación de soporte DWG.
- Propuestas automáticas.
- Análisis multicriterio.
- Informes justificativos automáticos.
- API y dashboard.

14. Estrategia de pruebas

Pruebas GIS

- Diferentes sistemas de coordenadas.
- KML y KMZ con varias capas.
- Archivos grandes.
- Geometrías inválidas.
- Rásteres desalineados.
- Valores sin datos.

- Zonas fuera de Navarra.
- Pérdida de conexión.

Pruebas del terreno

- Terreno plano.
- Pendiente constante.
- Valle.
- Cresta.
- Zona con cauces.
- Camino aislado.
- Camino conectado.
- Fondo de saco.

Pruebas de propagación

- Terreno plano sin viento.
- Terreno plano con viento.
- Ladera sin viento.
- Viento contrario a la pendiente.
- Diferentes combustibles.
- Cortafuegos completo.
- Cortafuegos discontinuo.
- Balsa o zona no combustible.

Validación histórica

Cuando existan datos suficientes:

1. Seleccionar incendios anteriores.
2. Configurar la ignición y meteorología.
3. Ejecutar la simulación.
4. Comparar el perímetro calculado con el observado.
5. Ajustar combustibles y humedad.
6. Validar con incendios no utilizados durante el ajuste.

15. Criterios de aceptación para la Fase 1

La primera fase estará terminada cuando:

1. Se pueda seleccionar cualquier área de Navarra.
2. Se puedan cargar datos de IDENA y archivos externos.
3. Todas las capas se alineen correctamente.
4. Se pueda trabajar offline después de preparar la zona.
5. Se puedan dibujar caminos, cortafuegos, talas y balsas.
6. Se calculen pendiente, orientación y altitud.
7. Se identifiquen caminos aislados o sin salida.

8. Se validen trazados mediante reglas configurables.
 9. Se pueda configurar un punto de ignición.
 10. Se pueda introducir viento, humedad y vegetación.
 11. La simulación muestre la evolución temporal.
 12. Se identifiquen zonas calientes.
 13. Se puedan comparar escenarios.
 14. Se puedan guardar y exportar resultados.
 15. Se genere un informe con datos, parámetros y conclusiones.
-

16. Riesgos principales

Calidad del combustible

La vegetación cartográfica no proporciona automáticamente todos los parámetros necesarios para modelar el combustible.

Solución:

- Tabla de correspondencias configurable.
- Revisión por especialista forestal.
- Posibilidad de editar manualmente las clases.
- Registro de la fuente y del nivel de confianza.

Precisión de la simulación

Una simulación estratégica no representa exactamente un incendio real.

Solución:

- Mostrar claramente las limitaciones.
- Comparar escenarios en lugar de prometer predicciones exactas.
- Validar con casos históricos.
- Incorporar progresivamente modelos reconocidos.

Rendimiento

Los DEM de alta resolución pueden generar millones de celdas.

Solución:

- Alta resolución para validación del terreno.
- Resolución reducida para propagación.
- Procesamiento por bloques.
- NumPy, Numba y GDAL.
- Caché de capas derivadas.

Viento complejo

Un único vector de viento no refleja los efectos de valles y montañas.

Solución:

- Viento uniforme en el MVP.
- Viento por intervalos posteriormente.
- WindNinja en la fase avanzada.

Google Maps

Las restricciones de almacenamiento dificultan su uso offline.

Solución:

- Utilizarlo solamente para visualización y localización.
- Utilizar IDENA y otras fuentes abiertas para análisis y descarga.

Responsabilidad técnica

La aplicación no puede certificar por sí sola una obra forestal o hidráulica.

Solución:

- Presentar resultados como apoyo a la decisión.
- Incluir reglas configurables.
- Exigir validación por profesionales competentes.

17. Resultado recomendado del MVP

El primer producto debería ser:

Una aplicación de escritorio en Python, integrada con QGIS, que permita seleccionar cualquier zona de Navarra, descargar y preparar sus datos geográficos, dibujar actuaciones preventivas, comprobar su viabilidad topográfica, simular escenarios básicos de propagación y comparar la situación actual con distintas intervenciones.

No deberían incluirse inicialmente:

- Predicción operativa en tiempo real.
- Simulación completa de humo.
- Fuego de copa avanzado.
- Diseño automático definitivo.
- Certificación técnica.
- Compatibilidad DWG completa.
- Meteorología dinámica compleja.

Estas funciones deberán añadirse después de validar el motor GIS, las reglas de terreno y el modelo básico de propagación.

18. Orden de implementación recomendado

1. Proyecto GIS y carga de mapas
2. Conexión con IDENA
3. Importación KML/KMZ y otros formatos
4. Procesamiento del DEM
5. Herramientas de dibujo
6. Validación de caminos y cortafuegos
7. Preparación de vegetación y combustible
8. Simulación simplificada
9. Comparación de escenarios
10. Exportaciones e informes
11. Validación con especialistas
12. Rothermel, WindNinja y recomendaciones automáticas

Este orden permite obtener primero una herramienta útil de análisis territorial y añadir después la complejidad científica, sin bloquear todo el proyecto por intentar construir desde el comienzo un simulador avanzado.