

SIAER(Simulador de Impactos de Asteroides y Evaluación de Riesgos): Una herramienta web para calcular las consecuencias medioambientales de impactos de asteroides en la Tierra

Bendezu Pastrana, Tommy	Meza Millan, Martin	Ildefonso Santos, Steve	Carhuanta Piélagos, Mijael
Dept. de Ing. Mecatrónica	Dept. de Ing. Civil	Dept. de Computer Science	Huancayo, Perú
Universidad Continental	Universidad Continental	UTEC	carhuamantaanyelo159753@gmail.com
Huancayo, Perú	Huancayo, Perú	Huancayo, Perú	
tommyhanss007@gmail.com	mezamilland@gmail.com	steve.ildefonso@utec.edu.pe	

Abstract—El NASA Space Apps Challenge 2025 plantea el reto "Meteor Madness", que busca desarrollar una herramienta para simular el impacto de asteroides en la Tierra, evaluando las consecuencias y ayudando a las autoridades pertinentes a tomar medidas preventivas. Este proyecto tiene como objetivo crear una página web interactiva que permite a los usuarios ingresar parámetros específicos de un asteroide, como su tamaño, velocidad y ángulo de entrada, para calcular y visualizar las consecuencias medioambientales. La herramienta integra datos reales de la NASA Near-Earth Object (NEO) API y de USGS, lo que proporciona una base científica sólida para los cálculos. Los resultados incluyen estimaciones sobre la extensión del área afectada, la magnitud de la onda expansiva, la generación de tsunamis y otros efectos secundarios. Además, se incluye una sección educativa que explica los fundamentos científicos detrás de los impactos de asteroides y las medidas de mitigación. Este proyecto no solo tiene un impacto directo en la seguridad planetaria, sino que también sirve como un punto de partida para futuras investigaciones en la predicción de fenómenos astronómicos peligrosos, apoyándose en datos reales y modelos científicos.

I. INTRODUCCIÓN

El NASA Space Apps Challenge 2025, a través del reto *Meteor Madness*, invita a la comunidad global a desarrollar soluciones innovadoras para entender y mitigar los riesgos que representan los asteroides cercanos a la Tierra. Aunque los impactos de asteroides son eventos poco frecuentes, su potencial destructivo es significativo, con efectos que incluyen tsunamis, terremotos y alteraciones atmosféricas. A lo largo de la historia, impactos de este tipo han

tenido consecuencias devastadoras, como el evento de Chicxulub, que se cree que contribuyó a la extinción de los dinosaurios. Esta amenaza subraya la importancia de contar con herramientas que nos permitan comprender y evaluar estos riesgos [7], [15].

Las herramientas interactivas de simulación juegan un papel crucial en la visualización de estos riesgos, ya que permiten explorar diferentes escenarios de impacto y sus consecuencias medioambientales. Estas herramientas no solo ayudan a

concienciar al público y a los responsables de la toma de decisiones sobre la magnitud de los impactos, sino que también permiten probar estrategias de mitigación, como la desviación de asteroides. La capacidad de simular cómo los cambios en los parámetros de un asteroide (tamaño, velocidad, trayectoria) afectan el impacto puede proporcionar información valiosa para la planificación de la protección planetaria [1].

En respuesta a este reto, este anteproyecto propone el desarrollo de un simulador web educativo que permite calcular y visualizar las consecuencias medioambientales de su impacto. Integrando datos reales de la NASA Near-Earth Object (NEO) API y del USGS, el simulador proporcionará estimaciones sobre la extensión del área afectada, la magnitud de la onda expansiva, la formación de cráteres y la generación de tsunamis, todo basado en modelos científicos establecidos. Además, el simulador incluirá una sección educativa que explicará los fundamentos científicos detrás de los impactos de asteroides y las medidas de mitigación [1], [6].

II. OBJETIVOS

Objetivo general: Desarrollar una herramienta web interactiva que simule el impacto de asteroides cercanos a la Tierra, permitiendo a los usuarios visualizar las consecuencias medioambientales y explorar estrategias de mitigación, utilizando datos reales de la NASA y el USGS.

Objetivos específicos:

1) Simular la trayectoria de asteroides cercanos a la Tierra:

- Implementar un modelo orbital que permita calcular y visualizar la trayectoria de un asteroide basándose en parámetros Keplerianos.

2) Visualizar los efectos medioambientales de un impacto:

- Calcular, mediante modelos científicos, y mostrar las consecuencias de un impacto de asteroide, tales como la formación de cráteres, la generación de

tsunamis, la actividad sísmica asociada, utilizando datos y modelos científicos existentes.

3) Integrar datos reales de la NASA y el USGS:

- Utilizar la NASA Near-Earth Object (NEO) API para obtener información sobre asteroides cercanos y la USGS Earthquake Catalog para modelar los efectos sísmicos, generando así una simulación realista y precisa.

4) Incluir una sección educativa sobre impactos de asteroides:

- Desarrollar una sección educativa dentro de la herramienta que explique los fundamentos científicos detrás de los impactos de asteroides, las posibles consecuencias medioambientales y las estrategias de mitigación.

5) Proveer una interfaz interactiva y accesible para usuarios no expertos:

- Crear una interfaz amigable que permita a los usuarios modificar parámetros (como el tamaño y la velocidad del asteroide) y ver los resultados en tiempo real, asegurando que la herramienta sea accesible tanto para científicos como para el público general.

6) Evaluar y visualizar estrategias de mitigación de impactos:

- Implementar la simulación de estrategias de mitigación, como la desviación de asteroides, y permitir a los usuarios visualizar cómo estas estrategias afectan la trayectoria del asteroide y los efectos del impacto.

III. METODOLOGÍA

A. Enfoque del Proyecto

El proyecto seguirá un enfoque **iterativo** dividido en varias fases clave, que se llevarán a cabo de forma paralela cuando sea posible, para maximizar la eficiencia. Usando la herramienta **GitHub** tendremos una evolución paralela en cada aspecto de la app(Frontend, Backend, etc) y luego se integrarán en un solo producto.

B. Desarrollo de la Simulación

La simulación se desarrollará en dos partes principales: la **trayectoria de asteroide** y los **efectos del impacto**.

- **Simulación de la Trayectoria:** Basándonos en la metodología de diseño de órbitas elípticas de NASA Mission Visualization, se definirán los elementos orbitales del asteroide (semi-eje mayor, excentricidad, inclinación, longitud del nodo ascendente y argumento del periastro) para inicializar la simulación. La propagación temporal se realizará resolviendo la ecuación de Kepler,

$$M(t) = n(t - t_0) = E - e \sin E, \quad (1)$$

para obtener la anomalía excéntrica E . La anomalía verdadera ν se calculará mediante

$$\tan \frac{\nu}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan \frac{E}{2}, \quad (2)$$

mientras que la distancia al foco se deriva de

$$r = a(1 - e \cos E). \quad (3)$$

Con estas magnitudes se evaluará el vector de posición en un marco centrado en la Tierra aplicando las rotaciones de Euler sobre el plano de la órbita,

$$\mathbf{r}_{\text{ECI}} = R_3(-\Omega) R_1(-i) R_3(-\omega) \begin{bmatrix} r \cos \nu \\ r \sin \nu \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

lo que permitirá calcular la posición y la velocidad en un marco centrado en la Tierra. Con estas magnitudes se generará la trayectoria en tres dimensiones y se estimará el punto de impacto considerando la rotación terrestre, la velocidad de llegada y diferentes ángulos de entrada. [16]

- **Simulación de los Efectos del Impacto:** Se seguirá el flujo establecido en el Earth Impact Effects Program [1], complementado con las referencias de ingeniería de explosiones. Las propiedades iniciales del proyectil se definen como

$$m = \frac{\pi}{6} \rho_i D_i^3, \quad R_i = \frac{D_i}{2}, \quad (5)$$

y la evolución atmosférica se integra resolviendo las ecuaciones de deceleración y ablación [1],

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{C_D A \rho_{\text{atm}}(h)}{2m} v^2 - g \sin \gamma, \quad (6)$$

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{C_h A \rho_{\text{atm}}(h)}{2Q^*} v^3, \quad (7)$$

evaluando la ruptura cuando la presión dinámica supera la resistencia del material siguiendo

$$q(h) = \frac{1}{2} \rho_{\text{atm}}(h) v^2 \geq \sigma_c. \quad (8)$$

Si el cuerpo alcanza el suelo, se calcula la energía cinética y su equivalente en kilotones de TNT

$$E_k = \frac{1}{2} m v_{\text{impacto}}^2, \quad W_{\text{kt}} = \frac{E_k}{4.184 \times 10^{12} \text{ J}}, \quad (9)$$

distribuyendo la energía entre fracciones sísmica, térmica y de onda de choque según las eficiencias [1], [14]. Para el dimensionamiento del cráter se aplican las leyes de escala pi-adimensionales de Holsapple adoptadas por [1]:

$$\pi_2 = \frac{g R_i}{v_{\text{impacto}}^2}, \quad \pi_3 = \frac{Y_t}{\rho_t v_{\text{impacto}}^2}, \quad (10)$$

con Y_t la resistencia del objetivo. El radio del cráter transitorio se obtiene tomando el máximo entre los regímenes de gravedad y de resistencia [1], [4],

$$R_t^{(g)} = K_g R_i \left(\frac{\rho_i}{\rho_t} \right)^{1/3} \pi_2^{-\mu_g}, \quad (11)$$

$$R_t^{(s)} = K_s R_i \left(\frac{\rho_i}{\rho_t} \right)^{1/3} \pi_3^{-\mu_s}, \quad (12)$$

$$R_t = \max(R_t^{(g)}, R_t^{(s)}), \quad (13)$$

con coeficientes $K_g = 1.161$, $\mu_g = 0.22$, $K_s = 1.03$ y $\mu_s = 0.275$ para objetivos rocosos. El diámetro final distingue entre cráter simple y complejo [1], [3],

$$D_f = \begin{cases} 1.25 D_t, & D_t \leq D_{sc}, \\ 1.17 D_t^{1.13} D_{sc}^{-0.13}, & D_t > D_{sc}, \end{cases} \quad (14)$$

donde $D_t = 2R_t$ y D_{sc} es el umbral local de transición simple-complejo. La eyección balística se modelará con las leyes de decaimiento radial del programa [1], [2],

$$h_e(r) = 0.14 R_t \left(\frac{R_t}{r} \right)^3, \quad (15)$$

$$v_e(r) = \sqrt{2gR_t} \left(\frac{R_t}{r} \right)^{3/2}, \quad (16)$$

que permiten estimar espesores de manta y velocidades de deposición. Para los efectos atmosféricos se adopta la eficiencia de acoplamiento explosivo η_b propuesta en [1] y se emplea el escalado de Kingery–Bulmash [13] sobre la carga equivalente $W_{eq} = \eta_b W_{kt}$,

$$Z = \frac{R}{W_{eq}^{1/3}}, \quad (17)$$

$$\Delta P(Z) = \exp \left(\sum_{i=0}^5 a_i (\ln Z)^i \right), \quad (18)$$

$$I(Z) = \exp \left(\sum_{i=0}^5 b_i (\ln Z)^i \right) \quad (19)$$

evaluando la carga dinámica estructural mediante

$$q_{din} = \Delta P(Z) + \frac{1}{2} \rho_{aire} U_s^2(Z), \quad (20)$$

donde $U_s(Z)$ proviene de la relación de Rankine–Hugoniot [13]. La componente térmica utiliza la eficiencia luminosa η_L tabulada en [1],

$$H(R) = \eta_L \frac{E_k}{4\pi R^2 \tau}, \quad (21)$$

integrando la exposición sobre la duración τ para derivar dosis por estadio. En impactos oceánicos se conserva la modelación de cavidad y tsunami de Ward y Asphaug [15],

$$r_c = \left(\frac{3E_k}{2\pi \rho_w g} \right)^{1/3}, \quad \eta(r) = \eta_0 \frac{r_c}{r} \exp \left(-\frac{r - r_c}{L_d} \right), \quad (22)$$

propagando el *run-up* costero mediante la ley de Green,

$$R_{run-up} = \eta(r_s) \left(\frac{h_s}{h(r_s)} \right)^{1/4}. \quad (23)$$

Esta cadena de modelos cubre los escenarios de estallido atmosférico, impacto terrestre u oceánico y entrega mapas de daño térmico, estructural e inundación consistentes con las referencias empleadas.

C. Interactividad y Visualización

La interfaz se diseñará para permitir que el usuario ingrese, ajuste y visualice los parámetros del asteroide y los resultados de la simulación en tiempo real.

- **Entrada de Parámetros:** Los usuarios podrán modificar parámetros como **tamaño**, **velocidad**, **ángulo de entrada**, mediante **sliders** y **campos de texto**.
- **Visualización en 3D:** Se utilizará **Three.js** para renderizar la **trayectoria del asteroide** en un entorno 3D interactivo, permitiendo rotar, acercar y alejar la vista.
- **Visualización en 2D:** Se empleará **D3.js** para crear gráficos y mapas que representen los **efectos del impacto**, como la extensión del área afectada, la magnitud de la onda expansiva y la generación de tsunamis.
- **Actualización en tiempo real:** Los resultados de la simulación se actualizarán dinámicamente a medida que el usuario modifique los parámetros, proporcionando retroalimentación inmediata.
- **Sección Educativa:** Se incluirá una sección con información científica sobre los impactos de asteroides, explicando los modelos y datos utilizados en la simulación. A medida que ambas simulaciones se completen, se explicaran conceptos científicos y matemáticos relevantes usados.

D. Validación de Resultados

Para asegurar la precisión y confiabilidad de la simulación, se llevará a cabo un proceso de **validación** de los resultados obtenidos.

- **Calibración con Modelos Reconocidos:** Se replicarán escenarios de referencia del Earth Impact Effects Program [1] y de los estudios de tsunamis de Ward y Asphaug [6], [15], verificando que los perfiles de cráter, sobrepresión y run-up coincidan dentro de tolerancias del 5 al 10%.
- **Validación Orbital:** Las trayectorias propagadas se contrastarán con efemérides de NASA Mission Visualization y catálogos JPL Horizons, midiendo el error cuadrático medio en posición y velocidad para garantizar consistencia dinámica [16].
- **Casos Históricos:** Se simularán eventos documentados como Tunguska [10] y Chelyabinsk [11]; los resultados se confrontarán con observables publicados (radios de daño, intensidades de onda de choque, luminosidad) calculando métricas de error relativas.
- **Reproductibilidad y Auditoría:** Se versionarán los conjuntos de parámetros y se publicarán cuadernos de verificación automatizados para que terceros puedan repetir las

simulaciones y revisar los balances de energía y momento en cada etapa.

E. Optimización y Rendimiento

Para mantener tiempos de respuesta interactivos se adoptarán estrategias de **optimización** en todas las capas de la aplicación.

- **Integración adaptativa:** El integrador orbital y el motor de efectos usarán pasos de tiempo variables guiados por el error local para reducir cómputo en intervalos suaves y concentrarlo en eventos críticos.
- **Computación paralela:** Se delegarán cálculos independientes (p.ej. barridos Monte Carlo y propagación de eyección) a hilos dedicados o Web Workers, manteniendo fluida la interfaz principal.
- **Uso de GPU:** La renderización volumétrica y los mapas de daño se implementarán con WebGL, aprovechando shaders para interpolación y sombreado en tiempo real.
- **Cachés numéricas:** Resultados recurrentes como curvas de Kingery–Bulmash y tablas pi-escaladas se almacenarán en memoria para evitar recomputaciones.
- **Perfilado continuo:** Se instrumentará la aplicación con herramientas de monitoreo (Chrome DevTools, Flamegraphs) para detectar cuellos de botella y establecer presupuestos de fotogramado y memoria.

F. Documentación y Presentación

La entrega incluirá materiales orientados a usuarios finales y revisores técnicos.

- **Manual de Usuario:** Guía ilustrada que explica configuración de escenarios, interpretación de resultados y límites del modelo.
- **Documento Técnico:** Especificación de modelos físicos, supuestos, validaciones y referencias bibliográficas, enlazando cada fórmula con su implementación.
- **API y Datos:** Descripción de endpoints, contratos de datos y esquemas de exportación (GeoJSON, CSV) para integrar la simulación con otras herramientas.
- **Cuadernos de Verificación:** Jupyter/Markdown que replican casos de prueba y muestran comparativas con estudios de referencia.
- **Elevator Pitch:** Diapositivas con los hallazgos clave, capturas de la interfaz y recomendaciones basadas en los escenarios evaluados.

IV. ARQUITECTURA

El sistema propuesto sigue una **arquitectura cliente-servidor** donde el **frontend** interactúa con el **backend** a través de una API RESTful. Esta estructura modular permite que los distintos componentes del sistema trabajen de manera eficiente y escalable. A continuación, se detallan los componentes y flujo de datos.

A. Descripción General

La arquitectura se compone de los siguientes módulos principales:

- 1) **Frontend:** Responsable de la interacción con el usuario, mostrando las simulaciones y permitiendo la entrada de datos (como parámetros del asteroide).
- 2) **Backend:** Se encarga de realizar los cálculos de la simulación (trayectoria, impacto, efectos secundarios) y de integrar los datos de las APIs externas de NASA y USGS.

B. Componentes del Backend

El backend estará basado en **Flask**, un framework ligero de Python, adecuado para manejar solicitudes HTTP y ejecutar cálculos de simulación. Los principales componentes del backend son:

- **Tecnologías utilizadas:**

- **Flask:** Se utilizará para desarrollar la API RESTful que procesará las solicitudes del frontend, ejecutará los cálculos de la simulación y devolverá los resultados.
- **Python:** El lenguaje principal para las simulaciones y procesamiento de datos. Se utilizarán bibliotecas como **NumPy** y **SciPy** para cálculos numéricos y **AstroPy** para cálculos astronómicos.
- **APIs externas:**
 - * **NASA NEO API:** Para obtener datos sobre asteroides cercanos a la Tierra, como órbitas y tamaños.
 - * **USGS Earthquake Catalog:** Para modelar los efectos sísmicos asociados a impactos (terremotos, tsunamis, etc.).

- **Flujo de datos:**

- El **frontend** enviará parámetros como tamaño, velocidad y ángulo de entrada del asteroide al backend mediante solicitudes **POST** a la API.
- El **backend** procesará estos parámetros, realizará los cálculos de simulación y consultará las APIs externas para obtener datos adicionales. Devolverá los resultados al frontend en formato **JSON**.

C. Componentes del Frontend

El **frontend** se desarrollará utilizando **React** y **Vite** para crear una interfaz de usuario interactiva y eficiente. Los principales componentes del frontend son:

- **Tecnologías utilizadas:**

- **React:** Framework de JavaScript para construir una interfaz interactiva y gestionada por estado. Será el núcleo del frontend, permitiendo la creación de componentes reutilizables para mostrar la simulación, los resultados y los controles de entrada.
- **Vite:** Utilizado para la construcción y el desarrollo rápido del frontend. Vite es un **bundler** de

última generación que proporciona tiempos de recarga rápidos y una experiencia de desarrollo eficiente.

- **Three.js**: Biblioteca para renderizar gráficos 3D en el navegador, utilizada para visualizar la trayectoria del asteroide y los efectos del impacto.
- **D3.js**: Biblioteca para crear gráficos y visualizaciones de datos en 2D, utilizada para mostrar mapas de daño y otros efectos secundarios.

- **Comunicación con el Backend:**

- El frontend enviará solicitudes **POST** a la API del backend con los parámetros del asteroide ingresados por el usuario.

D. Flujo de Datos entre Frontend y Backend

El **flujo de datos** entre el frontend y el backend se gestionará de la siguiente manera:

- El **frontend** enviará los parámetros seleccionados por el usuario (tamaño, velocidad, ángulo de entrada) al backend a través de una solicitud **POST** a la API RESTful.
- El **backend** recibirá estos parámetros, los procesará utilizando los modelos científicos para calcular la **trayectoria** del asteroide y los efectos del impacto. Luego, enviará los resultados de vuelta al frontend en formato **JSON**.
- El **frontend** actualizará las visualizaciones (en 3D y 2D) en tiempo real a medida que los resultados se reciben del backend.

E. Seguridad y Manejo de Errores

Para garantizar la seguridad y estabilidad del sistema, se implementarán las siguientes medidas:

- **Seguridad:**
 - **Validación de entradas:** El backend validará todos los parámetros recibidos del frontend para asegurarse de que sean correctos y estén dentro de los rangos aceptables.
 - **Protección contra inyecciones:** Se implementarán medidas para prevenir ataques de inyección SQL o XSS, asegurando que todas las entradas del usuario sean correctamente sanitizadas.
- **Manejo de errores:**
 - **Manejo de excepciones:** El backend manejará todas las excepciones y errores que puedan ocurrir durante los cálculos o las consultas a las APIs externas, devolviendo mensajes de error claros al frontend.
 - **Notificaciones al usuario:** El frontend mostrará mensajes de error amigables en caso de que ocurra algún problema, como parámetros inválidos o fallos en la comunicación con el backend.

V. DATOS ABIERTOS (NASA)

El desarrollo de este proyecto se basa en la integración de **datos abiertos** proporcionados por **NASA** y **USGS**, lo que permite crear simulaciones precisas y realistas sobre los impactos de asteroides cercanos a la Tierra. Estas fuentes de

datos proporcionan información esencial sobre los **asteroides** y los **efectos geológicos** relacionados con un impacto, y su integración permite una visualización más detallada y precisa de los riesgos asociados.

A. 1. Uso de la API de NASA NEO

La **API de NASA Near-Earth Object (NEO)** proporciona acceso a una vasta base de datos sobre **asteroides cercanos a la Tierra** (NEOs). Esta API incluye información crítica como los parámetros orbitales de los asteroides, su tamaño, velocidad, y las fechas de aproximación cercanas a la Tierra. Para nuestro proyecto, estos datos se utilizarán para calcular y simular la **trayectoria orbital** de los asteroides, lo cual es fundamental para predecir su impacto en la Tierra.

- **Datos Utilizados:**

- **Parámetros Orbitales:** Semi-eje mayor, excentricidad, inclinación, entre otros.
- **Tamaño del Asteroide:** Para estimar la energía cinética del impacto.
- **Fecha y Distancia de Aproximación:** Para simular la trayectoria en el tiempo y predecir el impacto.

La API de NASA proporciona los datos necesarios para crear simulaciones precisas y determinar la zona de impacto y los posibles efectos secundarios del asteroide.

B. 2. Uso de la API de USGS Earthquake Catalog

La **API de USGS Earthquake Catalog** ofrece acceso a un catálogo global de **datos sísmicos**, incluyendo información sobre la ubicación, magnitud y profundidad de los terremotos. Estos datos serán fundamentales para modelar los efectos sísmicos generados por un impacto de asteroide en la Tierra. Además, se utilizarán los **modelos de propagación sísmica** para simular las ondas sísmicas generadas por el impacto.

- **Datos Utilizados:**

- **Magnitud de los Terremotos:** Para estimar la fuerza de las ondas sísmicas.
- **Ubicación y Profundidad:** Para modelar la propagación de las ondas sísmicas en el terreno afectado.
- **Impacto en Zonas Geográficas:** Para simular los efectos en áreas cercanas al lugar de impacto.

C. 3. Integración y Transparencia de Datos

La integración de estos datos será clave para asegurar que las simulaciones sean lo más precisas posible. Durante el desarrollo del proyecto, se asegurará que los datos sean procesados de manera **transparente**, permitiendo que los usuarios comprendan cómo se obtienen los datos y cómo afectan los resultados de las simulaciones. Además, se implementarán mecanismos para verificar la **precisión** y **actualización** de los datos en tiempo real, utilizando la **API de NASA NEO** para obtener la información más actualizada sobre asteroides cercanos y la **API de USGS** para obtener los últimos registros sísmicos.

D. 4. Aplicación en la Simulación

Los datos obtenidos a través de estas APIs se integrarán en el **backend** del sistema para realizar los cálculos de la trayectoria y los efectos del impacto. El **frontend** se encargará de mostrar estos resultados en tiempo real, permitiendo a los usuarios explorar los diferentes escenarios de impacto y visualizar cómo los cambios en los parámetros afectan las áreas de impacto y las consecuencias medioambientales.

VI. ALCANCE

Este anteproyecto define el alcance funcional y técnico de la plataforma **Meteor Madness**. El desarrollo cubrirá los siguientes aspectos:

- **Simulación física:** Propagación orbital, entrada atmosférica e impacto con generación de mapas de daño para escenarios terrestres y oceánicos utilizando los modelos descritos en la metodología.
- **Interfaz interactiva:** Visualizaciones 3D y 2D en navegador con ajuste de parámetros en tiempo real, indicadores de daño y exportación de resultados.
- **Soporte educativo:** Sección explicativa con fundamentos físicos, referencias y glosario para público no especialista.
- **Infraestructura:** Backend de servicios para cálculo, almacenamiento de escenarios y distribución de datos a clientes web.

Fuera de alcance quedan la integración con sistemas de defensa, alertamiento en tiempo real, modelado climático posterior al impacto y despliegues móviles nativos; estos requerirían proyectos adicionales.

VII. PLAN DE TRABAJO (48 H) Y ENTREGABLES

El proyecto se llevará a cabo durante un período de **48 horas**, donde se dividirán las actividades en dos días con tareas específicas para lograr un progreso continuo y bien organizado. A continuación se detalla el plan de trabajo y los entregables esperados en cada fase.

A. Día 1: Investigación, Diseño y Desarrollo Inicial

Objetivos del Día 1:

- Realizar la investigación necesaria sobre los impactos de asteroides y los modelos científicos relevantes.
- Definir la estructura general del sistema y el diseño de la interfaz.
- Comenzar con el desarrollo de la simulación de la trayectoria del asteroide y los efectos del impacto.

Actividades:

1) Investigación y Revisión de Modelos Científicos

- Revisión de modelos de simulación orbital y efectos de impacto (como la formación de cráteres y tsunamis).
- Estudio de las APIs de NASA y USGS para integrar datos sobre asteroides y efectos sísmicos.

2) Definición de la Arquitectura

- Diseño de la arquitectura cliente-servidor.

- Selección de tecnologías para el frontend (React, Vite, Three.js, D3.js) y backend (Flask, Python).
- Diseño preliminar de la API RESTful para la comunicación entre frontend y backend.

3) Desarrollo de la Simulación de Trayectoria Orbital

- Implementación de la propagación orbital utilizando los parámetros y ecuaciones de Kepler.
- Validación inicial de la simulación con datos de referencia.
- Configuración de la API de NASA NEO para obtener datos de asteroides cercanos.

4) Diseño Inicial del Frontend

- Creación de una interfaz básica con React y Vite.
- Implementación de la estructura básica para la visualización de la trayectoria orbital en 3D utilizando Three.js.

Entregables del Día 1:

- Prototipo funcional básico con la interfaz de usuario inicial y un esbozo de la visualización en 3D de la trayectoria del asteroide.
- Documentación técnica preliminar sobre el diseño y la arquitectura del sistema.
- Resultados iniciales de simulación de la trayectoria orbital del asteroide.
- Código inicial del backend con la simulación de la trayectoria orbital y la integración con la API de NASA NEO.

B. Día 2: Desarrollo Completo, Validación y Documentación

Objetivos del Día 2:

- Completar el desarrollo de los efectos del impacto (cráter, tsunamis, terremotos).
- Integrar las APIs de NASA y USGS para los datos de asteroides y los efectos sísmicos.
- Implementar la interactividad en tiempo real.
- Realizar pruebas y optimizar el rendimiento.

Actividades:

1) Desarrollo de los Efectos del Impacto

- Implementación de cálculos para la formación de cráteres y el cálculo de la energía cinética del asteroide.
- Simulación de los efectos secundarios del impacto: tsunamis y actividad sísmica, utilizando los datos de USGS.

2) Integración de Datos de NASA y USGS

- Integración de la API de NASA NEO para obtener datos en tiempo real de asteroides cercanos.
- Integración de la API de USGS Earthquake Catalog para modelar los efectos sísmicos y geológicos del impacto.

3) Desarrollo de la Interactividad y Visualización

- Creación de sliders interactivos para que los usuarios ajusten parámetros del asteroide (tamaño, velocidad, etc.).

- Implementación de la visualización en 3D de la trayectoria del asteroide y los efectos del impacto.
- Actualización en tiempo real de los mapas 2D con zonas afectadas por tsunamis y terremotos.

4) Pruebas y Optimización

- Pruebas de usabilidad para asegurar que la herramienta sea fácil de usar y entender.
- Optimización del rendimiento, tanto en el frontend (visualización en 3D) como en los cálculos de simulación.

Entregables del Día 2:

- Simulación completa de la trayectoria del asteroide y los efectos del impacto (formación de cráteres, tsunamis, terremotos).
- Interfaz interactiva con sliders para modificar parámetros y ver resultados en tiempo real.
- Prototipo final de la herramienta web con visualización 3D y mapas 2D interactivos.
- Pruebas de usabilidad y optimización de rendimiento.
- Documentación final del proyecto, incluyendo instrucciones de uso y detalles técnicos.

REFERENCES

- [1] G. S. Collins, H. J. Melosh, and R. A. Marcus, "Earth impact effects program: A web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on earth," *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 40, no. 6, pp. 817–840, 2005. doi:10.1111/j.1945-5100.2005.tb00157.x
- [2] R. R. Herrick, "Updates regarding the resurfacing of venusian impact craters," in *Lunar and Planet. Sci. Conf. XXXVII*, p. Abs. 1588, Lunar and Planetary Institute, Houston, Texas, 2006.
- [3] R. R. Herrick, V. L. Sharpton, M. C. Malin, S. N. Lyons, and K. Feely, "Morphology and Morphometry of Impact Craters," in *Venus II: Geology, Geophysics, Atmosphere, and Solar Wind Environment*, S. W. Bougher, D. M. Hunten, and R. J. Phillips, Eds., p. 1015, 1997.
- [4] K. A. Holsapple, "The scaling of impact processes in planetary sciences," *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, vol. 21, pp. 333–373, 1993.
- [5] W. B. McKinnon and P. M. Schenk, "Ejecta blanket scaling on the Moon and Mercury - inferences for projectile populations," in *Lunar and Planet. Sci. Conf. Proceedings XVI*, pp. 544–545, Lunar and Planetary Institute, Houston, Texas, 1985.
- [6] K. Wünnemann, G. S. Collins, and R. Weiss, "Impact of a cosmic body into earth's ocean and the generation of large tsunami waves: Insight from numerical modeling," *Reviews of Geophysics*, vol. 48, no. 4, 2010. doi:10.1029/2009RG000308
- [7] H. J. Melosh, *Impact Cratering: A Geologic Process*. Oxford University Press, 1989.
- [8] K. R. Housen and K. A. Holsapple, "Ejecta from impact craters," *Icarus*, vol. 211, pp. 856–875, 2011. doi:10.1016/j.icarus.2010.09.017
- [9] T. R. McGetchin, M. Settle, and J. W. Head, "Lunar impact ejection and crater growth," *Journal of Geophysical Research*, vol. 78, no. 11, pp. 10847–10863, 1973. doi:10.1029/JB078i023p10847
- [10] C. F. Chyba, P. J. Thomas, and K. J. Zahnle, "The 1908 Tunguska explosion: Atmospheric disruption of a stony asteroid," *Nature*, vol. 361, pp. 40–44, 1993. doi:10.1038/361040a0
- [11] O. P. Popova et al., "Chelyabinsk Airburst, Damage Assessment, Meteorite Recovery, and Characterization," *Science*, vol. 342, no. 6162, pp. 1069–1073, 2013. doi:10.1126/science.1242642
- [12] C. N. Kingery and G. Bulmash, "Airblast Parameters from TNT Spherical Air Burst and Hemispherical Surface Burst," Technical Report ARBRL-TR-02555, U.S. Army Ballistic Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, 1984.
- [13] UFC 3-340-02, "Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions," U.S. Department of Defense, 2008 (Change 2, 2014).
- [14] S. Glasstone and P. J. Dolan, *The Effects of Nuclear Weapons*. U.S. Department of Defense and U.S. Department of Energy, 1977.
- [15] S. N. Ward and E. Asphaug, "Asteroid impact tsunami: A probabilistic hazard assessment," *Icarus*, vol. 145, pp. 64–78, 2000. doi:10.1006/icar.1999.6336
- [16] NASA Goddard Space Flight Center, "Elliptical Orbit Design," Mission Visualization https://nasa.github.io/mission-viz/RMarkdown/Elliptical_Orbit_Design.html, accessed Oct. 2024.