

# **Ficha tecnica de SafeEarth. APOCALIPSIS 2025**

Aldo Karim García Zapata  
Roberto Ochoa Cuevas  
Andrés Rodríguez Cantú

Noviembre 2025

## **Resumen**

Utilizando tecnologías de AWS; React, Tailwind y Shadcn para el frontend; Laravel, Composer y Python para el backend. Logramos crear un software de simulación de meteoros para poder detener el inminente peligro estos nos representa. Específicamente, trabajamos con el asteroide *(35396) 1997 XF11*, un asteroide que de un kilómetro de largo que en la vida real tendrá un acercamiento hacia la tierra en el año 2028. Para la simulación de las trayectorias de los meteoros, utilizamos la ecuación de Kepler para poder hallar la órbita de dicho cuerpo físico en un ambiente controlado. Para la desviación, utilizamos un satélite lleno de explosivos cuyo objetivo es hacer que en el punto en donde el asteroide empiece a desacelerar, echarle un empujón para que este salga de la órbita de la tierra.

## Hallar un asteroide adecuado

Al iniciar el reto, una de las primeras cosas que el equipo realizo fue el intentar hallar un candidato que fuera grande y que, históricamente, haya tenido varios acercamientos a la Tierra. Utilizamos la API de la NASA de los asteroides más cercanos a la tierra; y con ayuda en un parser, encontramos el meteorito *35396 (1997 XF11)*. Un asteroide clasificación de “asteroide potencialmente peligroso” debido a su gran tamaño (1.704 kilómetros) ya que ha tenido muchísimos acercamientos a la tierra. Se tiene pronosticado que en 2028, este asteroide se acercara apenas 2.42 veces la distancia lunar.

Tabla 1: Clasificación de peligrosidad según NASA

Característica	Valor
Potentially Hazardous Asteroid (PHA)	<b>TRUE</b>
Objeto Sentry (riesgo de impacto futuro)	FALSE
Magnitud Absoluta (H)	17.01
MOID	0.000331 AU (49,561 km)
Incertidumbre orbital	0 (máxima precisión)
Peso estimado	$1.0 \times 10^{12}$ kg

Recuperado de: National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2025b)

Con un asteroide de este calibre, es necesario hacer una solución radical para poder detener dicha catástrofe. Tenemos que desviarla con una cantidad de energía increíble para mover este monstruo estelar. Sin embargo, antes de hacer eso, tenemos que conocer los procesos físicos que el asteroide utiliza para que este llegue a colisionar en la tierra.

## Modelo físico y ecuaciones de Kepler

### Encontrando una elipse aproximada

A partir de la información que nos ha proporcionado la API, somos capaces de encontrar la trayectoria discreta del meteorito. Sin embargo, para crear una función que a partir del tiempo nos dé la posición, primero necesitamos estudiar la elipse resultante; es más, encontrar los valores  $a$  y  $b$  para utilizar las siguientes identidades:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}, M(t) = \left( \sqrt{\frac{G(M+m)}{a^3}} \right) (\Delta t)$$

### Encontrando la anomalía excéntrica

Esto se realizará utilizando una regresión matricial para calcular, a partir de los datos dados, una elipse aproximada que luego podremos estudiar para encontrar los extremos  $a$  y  $b$ .

Para encontrar todas las variables, primero necesitamos encontrar la anomalía excéntrica. Esto se puede hacer de varias formas; el método que utilizaremos para resolver este problema es usar una versión convergente de las series de Fourier / Bessel:

$$E(t) = M(t) + 2 \sum_{s=1}^{\infty} s^{-1} J_s(se) \sin(sM(t))$$

Donde  $J_s$  son las funciones de Bessel. Al hacer esto, somos capaces de encontrar la anomalía excéntrica. Esto nos permite encontrar una aproximación extremadamente buena del valor de la anomalía excéntrica sin necesidad de introducir nuevas variables al sistema.

## Calculando la distancia radial

Para calcular la distancia radial  $r$ , necesitamos buscar la definición de la propia distancia radial. La definición proviene de la ecuación de Kepler; creando una relación entre la distancia radial y la anomalía excéntrica/excentricidad.

$$r(t) = a(1 - e \cos(E(t)))$$

Además, somos capaces de encontrar la anomalía verdadera  $\nu$  utilizando la relación entre la anomalía verdadera y la anomalía excéntrica. Al hacer esto, obtenemos la fórmula resultante para tener nuestra función de posición lista para ser desplegada:

$$\nu = 2 \arctan \left( \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan \left( \frac{E}{2} \right) \right)$$

Con estos valores, ahora somos capaces de encontrar  $x_{orb}$  y  $y_{orb}$  utilizando la definición básica de coordenadas planas:

$$x_{orb} = r \cos(\nu), \quad y_{orb} = r \sin(\nu)$$

Lo cual puede traducirse a coordenadas iniciales más adelante para poder pasar este modelo en tres dimensiones.

Nota: Para el modelo, tambien se considera un arrastre con un coeficiente constante. Esto se incluye para que la orbita empiece a decaer.

## Desviación del meteorito

Para la desviación, tenemos que de alguna manera incremetar la velocidad del meteoro. Esto, con el objetivo de hacer que el meteorito se salga de la órbita de la tierra. Para hacer esto, tenemos que liberar una cantidad enorme de energía para poder mover dicha masa. Recordando que tenemos que la masa del asteroide es alrededor de  $1.0 \times 10^{12}$  kg, tenemos que recurrir a utilizar medios absurdos para poder mover dicha masa. En otras palabras, usar bombas de hidrogeno que serían lo suficientemente potentes para que el meteorito se desvie.

No solo ocupamos dicha fuerza, si no tambien explotarlo de tal manera que este haga la mayor cantidad de trabajo posible. En nuestras simulaciones, se hizo la decisión de hacer la explosión a unos 25 grados debajo de la horizontal para que; en dado caso que el meteoro esté rotando, que este pueda agarrar la mayor cantidad de superficie de tal manera que el satelite no se termine destruyendo.

$$\gamma = \frac{W}{\Delta A}$$

## Resultados de la Simulación Orbital y Sistema de Defensa

Con nuestro modelo, pudimos realizar pruebas para el asteroide *35396 (1997 XF11)*. De esta forma, evaluamos tanto la visualización de trayectorias de cuerpos celestes (meteoritos) como la activación de

protocolos de defensa para la Tierra.

## Visualización y Seguimiento de Trayectorias

Utilizando nuestros modelos, colocando el asteroide extremadamente cerca de la tierra con una magnitud de velocidad de 7km/s. Vemos que en ambos casos, un choque es inevitable. Tal y como se muestra en la estela de las siguientes figuras:

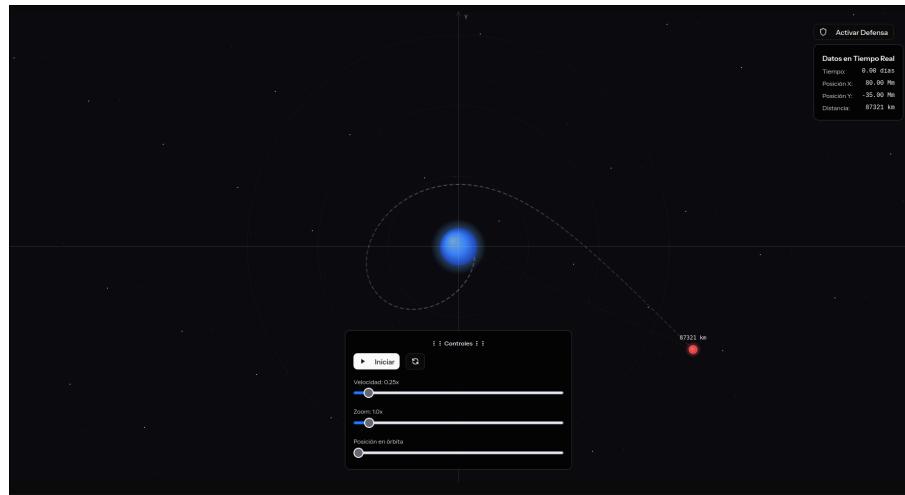


Figura 1: Simulación 2D de la colisión del asteroide

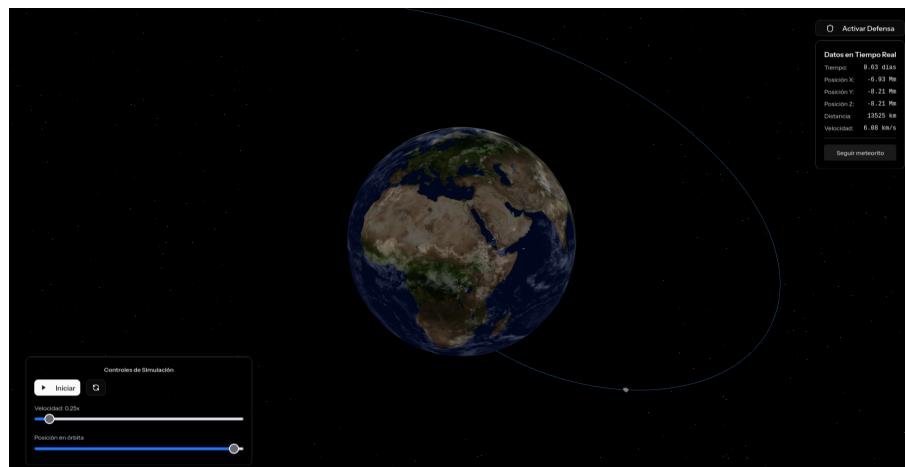


Figura 2: Simulación 3D de la colisión del asteroide

Ahora bien, si es activado el modo de defensa, podemos ver no solo la trayectoria del meteoro, si no que tambien la trayectoria del cohete que llevara los satelites con las bombas.

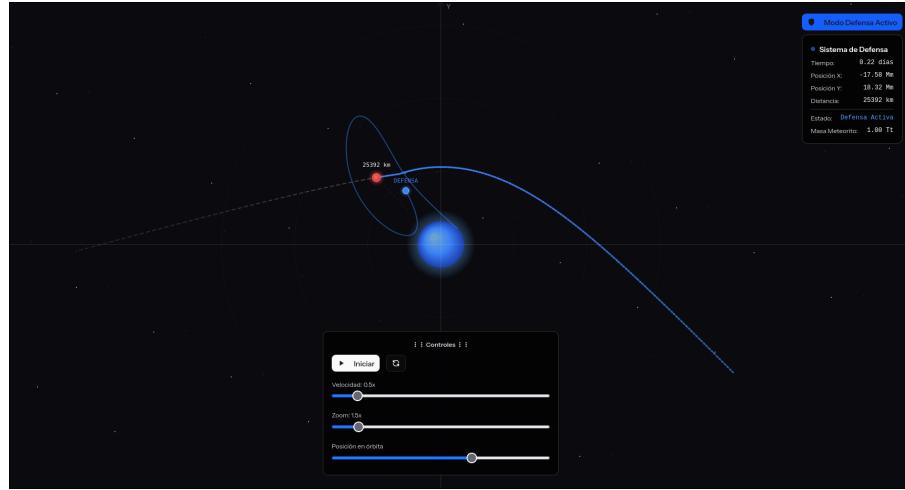


Figura 3: Simulación 2D para detener el meteoro al realizar un cambio de orbita

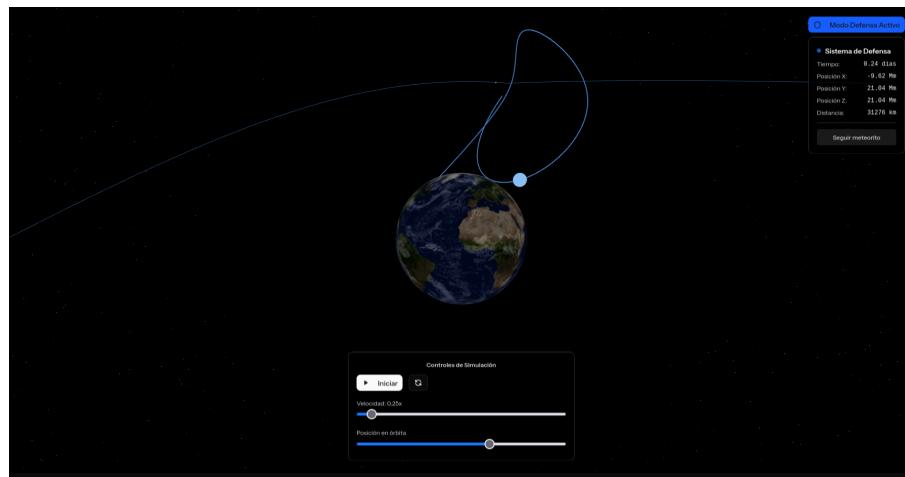


Figura 4: Simulación 3D para detener el meteoro al realizar un cambio de orbita

Dicha manejobra simula con una precisión sorprendente el caso real con una solución plausible para una problemática tan extrema como es el choque de un asteroide.

## Referencias

- Center for Near Earth Object Studies. (2025). *CNEOS Home Page* [JPL Website]. <https://cneos.jpl.nasa.gov/>
- Jet Propulsion Laboratory. (2025). *Small-Body Database* [Database]. <https://ssd.jpl.nasa.gov/>
- Marsden, B. G. (1998). The 1997 XF11 Near-Earth Asteroid Event [Academic Paper]. *Journal of the British Interplanetary Society*.
- Minor Planet Center. (2025). *International Astronomical Union Minor Planet Center* [Database]. <https://www.minorplanetcenter.net/>
- National Aeronautics and Space Administration. (2007). *Near-Earth Object Survey and Deflection Analysis* (Report to Congress). NASA.
- National Aeronautics and Space Administration. (2025a). *NASA NEO API* [API Portal]. <https://api.nasa.gov/>
- National Aeronautics and Space Administration. (2025b). *Small-Body Database Lookup*. [https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb\\_lookup.html#/?sstr=2035396](https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_lookup.html#/?sstr=2035396)