

# Simulación de Cuerpos Celestes de Gran Masa en el Sistema Solar

---

2172016 - Kevin Javier Lozano Galvis

2170688 - Brayan Rodolfo Barajas Ochoa

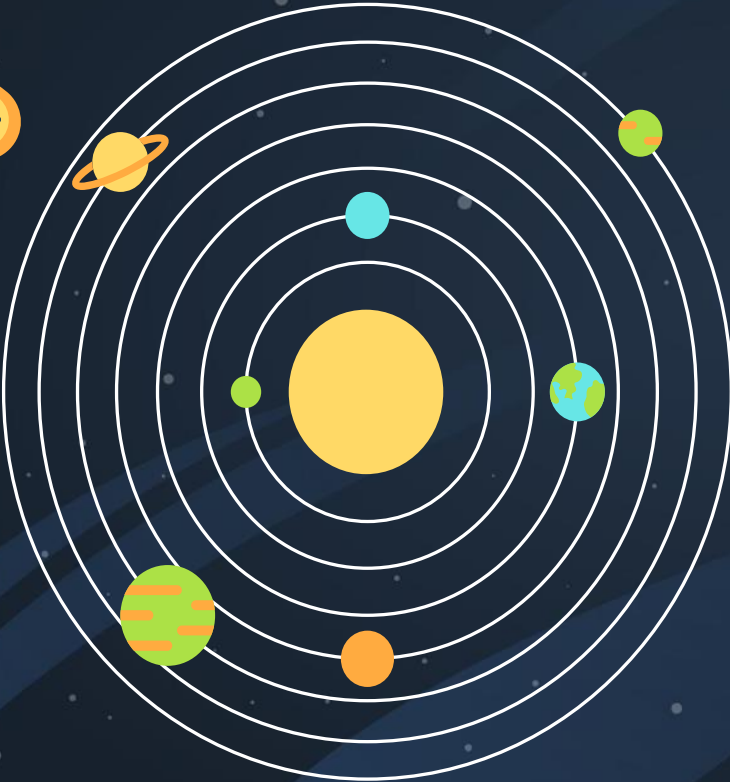
2161342 – Carlos Alberto Palencia Pombo



# 01

## Formulación del Problema

# Formulación del Problema



Gran interés para el estudio de la dinámica de los cuerpos que lo conforman



Por la gran cantidad de objetos que se encuentran orbitando, resulta complicado realizar todos los cálculos para estimar la posición y velocidad de cada uno de ellos



$$\overrightarrow{F_G} = -G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} \cdot \overrightarrow{u_r}$$

$$F = ma$$



02

Objetivos

# Objetivos

Predecir la posición y  
velocidad de los cuerpos  
celestes en un momento  
dado



Determinar la cantidad  
de objetos necesarios  
para la simulación



Elaborar una simulación que  
permita obtener una precisión  
significativa al compararla con  
los datos observados



Visualizar los resultados  
de la simulación a  
través del tiempo



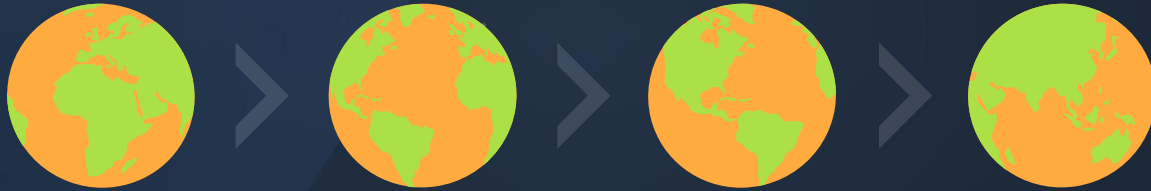
The background is a dark blue space scene with white stars and wavy blue lines representing nebulae. On the left, there are three illustrations: a ringed planet (like Saturn) in orange and blue, a colorful planet with orange, green, and blue swirls, and a stylized atom with a green nucleus and three elliptical orbits in blue, orange, and green.

03

# Plan General del Proyecto

# Justificación

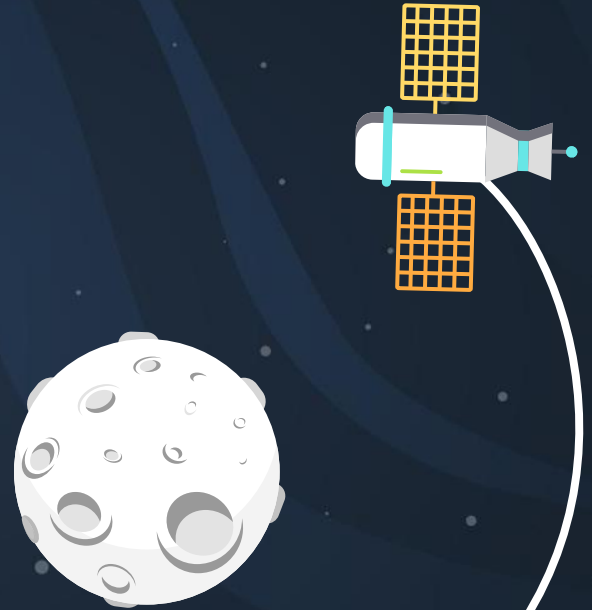
En astronomía es fundamental estudiar la posición de los cuerpos celestes para, a partir de esto, poder obtener información de cada uno de ellos y entender sus interacciones



Esto conlleva a una gran cantidad de cálculos para cada uno de los cuerpos y es por esa razón que resultan útiles las simulaciones en esta área

# Declaración y Evaluación

- Simulaciones directas de N-cuerpos. Este tipo de simulación es costosa desde el punto de vista computacional  $O(n^2)$
- Comparar la simulación a realizar con las observaciones obtenidas por la NASA JPL Horizons, así como otras simulaciones en las que se haya aprovechado la supercomputación
- Verificar la precisión de las posiciones y velocidades por medio de un error relativo





# Cronograma de Actividades



# Cronograma de Actividades





# 04

## Conceptualización del Modelo

# Conceptualización del Modelo

Se deben considerar variables indispensables para la construcción de este modelo

1

Posición

2

Velocidad

3

Aceleración

4

Fuerza

5

Tiempo



# Conceptualización del Modelo



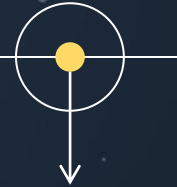
$$\vec{F} = -\frac{G * M * m}{\|\vec{r}\|^2} * \hat{r}$$



$$\vec{a}_i = -G \sum_{j=1}^n \frac{M_j}{\|\vec{r}_{i,j}\|^2} \hat{r}_{i,j}$$



$$F = ma$$



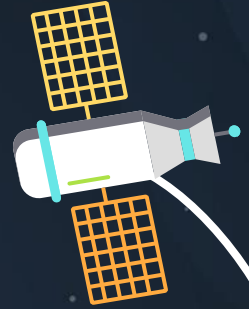
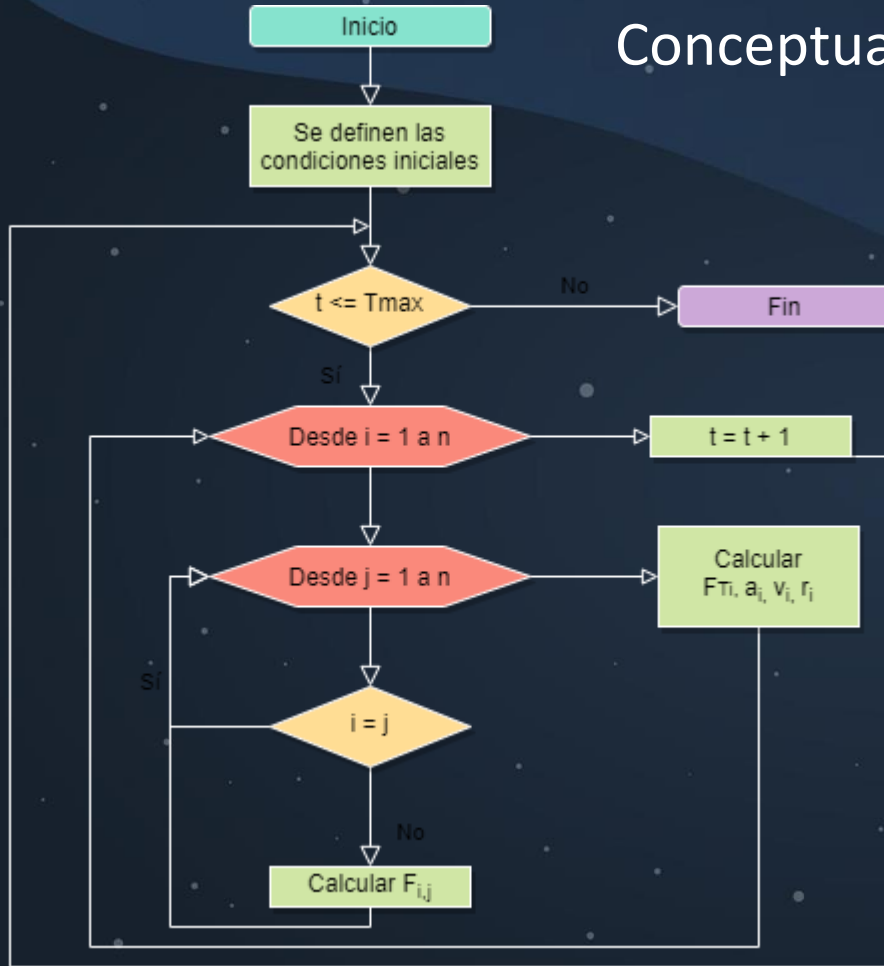
$$\vec{F}_i = -G * m_i \sum_{j=1}^n \frac{M_j}{\|\vec{r}_{i,j}\|^2} \hat{r}_{i,j}$$

$$\vec{r}_{i_{new}} = \vec{r}_{i_{old}} + \vec{v}_{i_{old}} dt$$

$$\vec{v}_{i_{new}} = \vec{v}_{i_{old}} + \vec{a}_{i_{old}} dt$$



# Conceptualización del Modelo





05

# Recolección de Datos

# Recolección de Datos



## Dataset

NASA JPL Horizons  
System



## Acceso a datos de

Planetas, asteroides,  
cometas, satélites  
planetarios y el Sol.



## Importancia

Condiciones iniciales  
para determinada fecha  
de inicio



# Recolección de Datos

## Planetas

- ☐ Mercurio
- ☐ Venus
- ☐ Tierra
- ☐ Marte
- ☐ Júpiter
- ☐ Saturno
- ☐ Urano
- ☐ Neptuno

## Efemérides

- ☐ Posición
- ☐ Velocidad
- ☐ Aceleración

## Parámetros físicos

- ☐ Masa
- ☐ Densidad aparente
- ☐ Radio medio
- ☐ Albedo geométrico



06

Prototipo  
Implementado

# Prototipo Implementado

## Procesamiento de los datos

Python cuenta con la librería *astroquery*, que contiene el módulo *Horizons* para el manejo de estos.



## Contrucción de Modelos en R

Inicializados con una variable discreta desde el 2018, de tal forma que se puedan comparar con los datos de la NASA en un periodo de 3 años.



## Métricas de evaluación en R

Se busca evaluar tanto el tiempo de la simulación como la precisión de esta con el RMSE



## Animación en Python

Vídeos animando el movimiento de los planetas, con una implementación por medio del paradigma orientado a objetos.



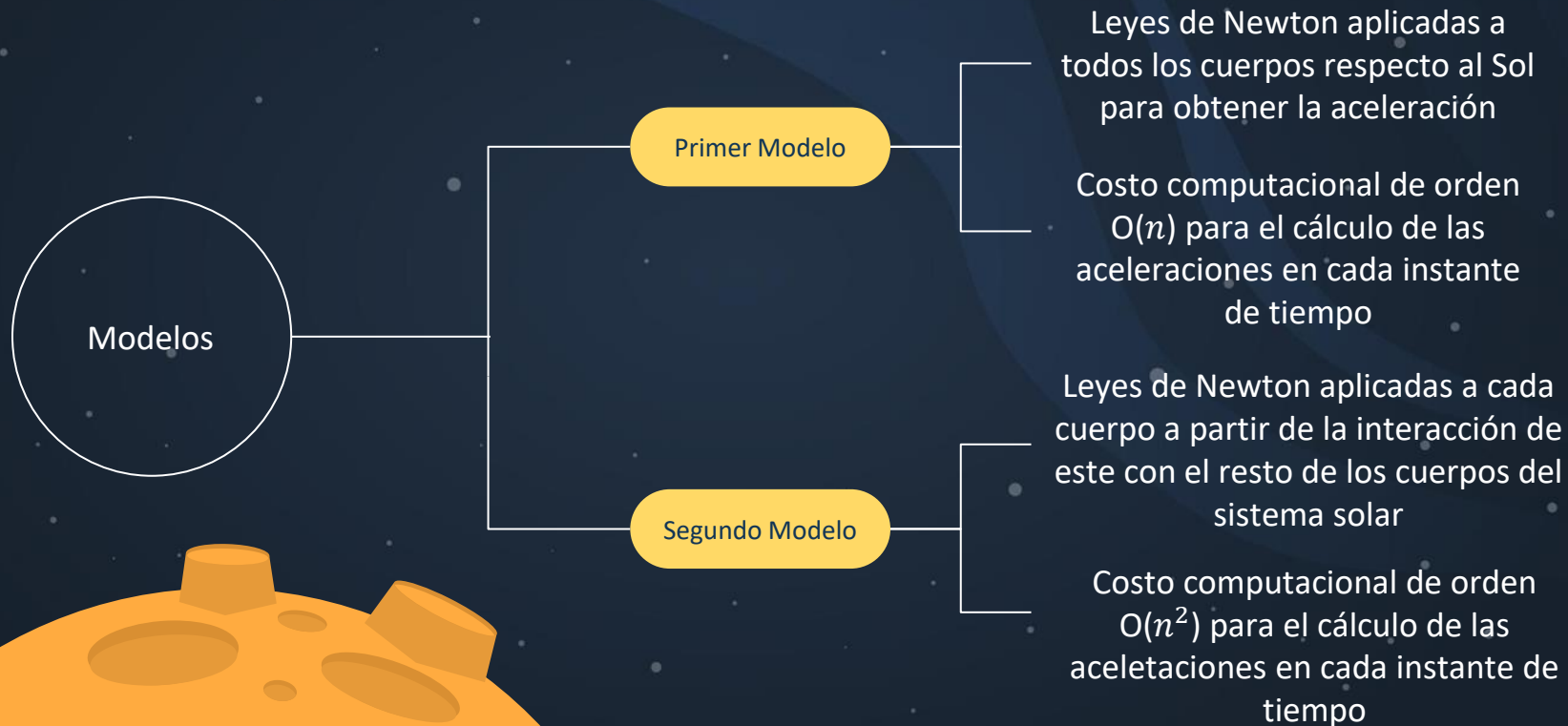


07

Diseño

Experimental

# Diseño Experimental



# Diseño Experimental

- Ambos modelos se inicializan el 01 de enero del 2018 y se ejecutan por un tiempo total de tres años, es decir 1095 días.
- Para delimitar el alcance de la simulación se seleccionarán los planetas a partir de las coordenadas baricéntricas y el Sol.

## Unidades

- ☐ Tiempo: Días (d)
- ☐ Distancia: Unidades Astronómicas (AU)
- ☐ Velocidad: Unidades Astronómicas por día (AU/d)
- ☐ Aceleración: Unidades Astronómicas por día al cuadrado (AU/d<sup>2</sup>)
- ☐ Masa: Kilogramos (Kg)

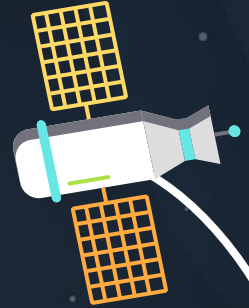


# 08

## Resultados de la Simulación

# Resultados de la simulación

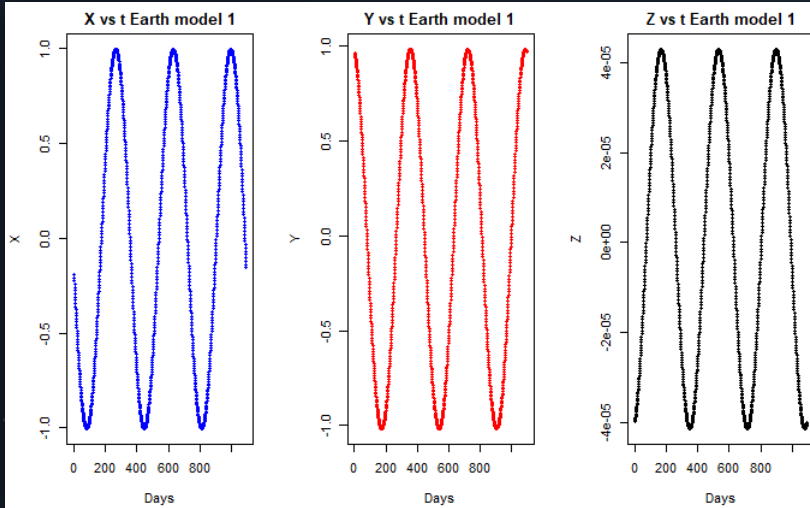
- Los resultados obtenidos en la simulación son valores de posición y velocidad a través del tiempo.
- Estos resultados permiten describir el comportamiento del sistema y avanzar indefinidamente para conocer de forma aproximada la cinemática del Sistema a partir de coordenadas cartesianas.



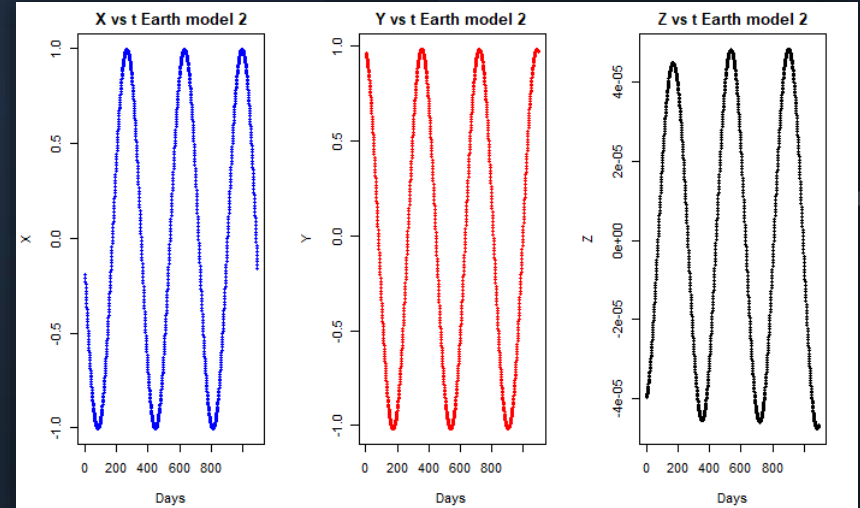


# Resultados de la simulación

Tierra – Modelo 1

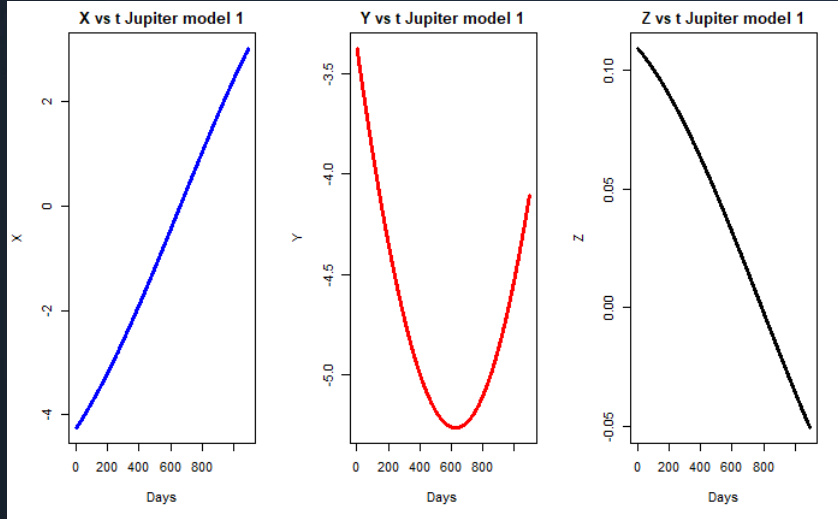


Tierra – Modelo 2

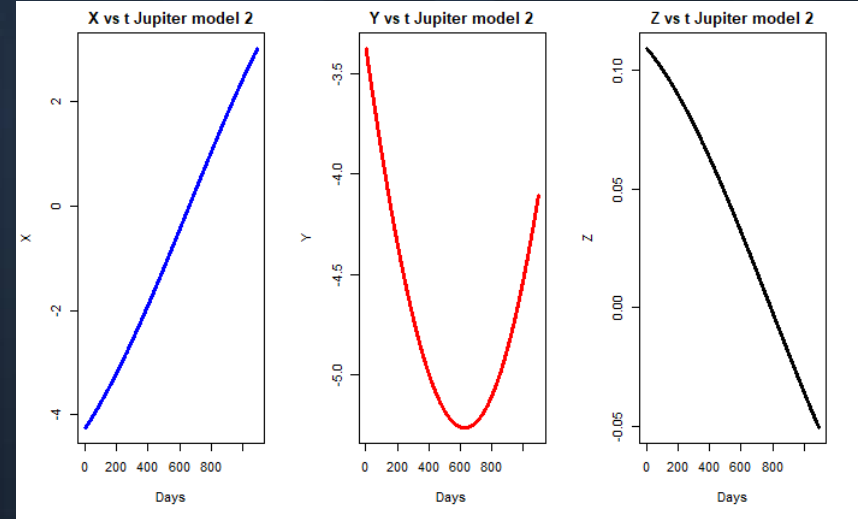


# Resultados de la simulación

Júpiter – Modelo 1



Júpiter – Modelo 2

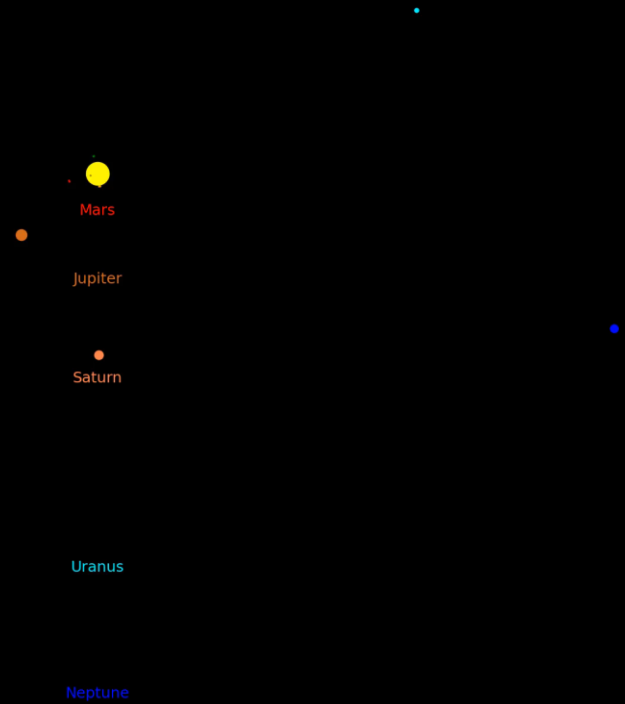




# Animación

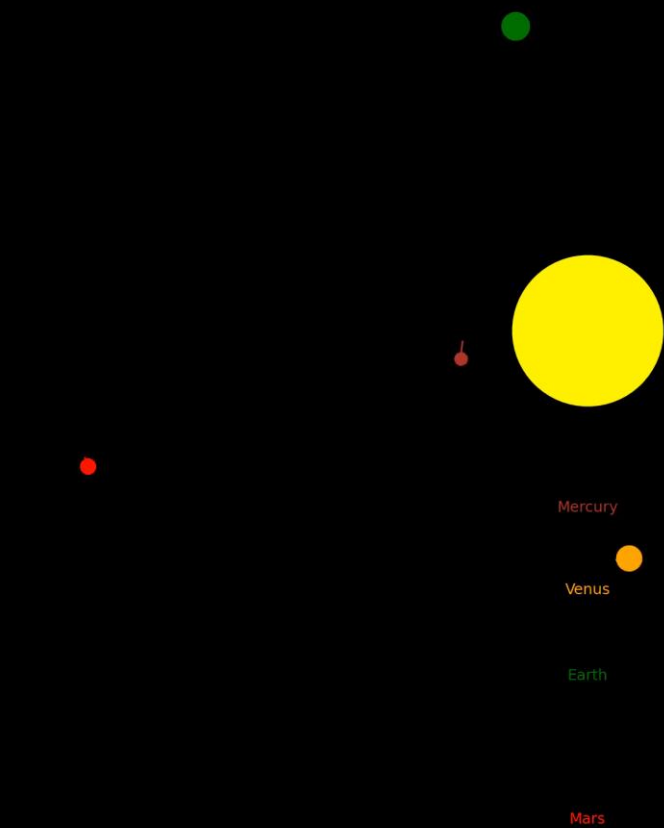
# Modelo 1

Date: 2018-01-04



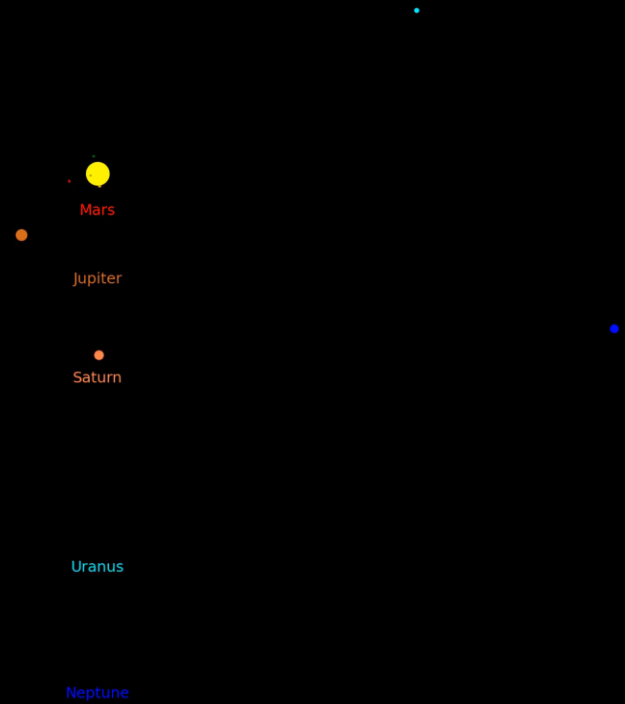
# Zoom Modelo 1

Date: 2018-01-04



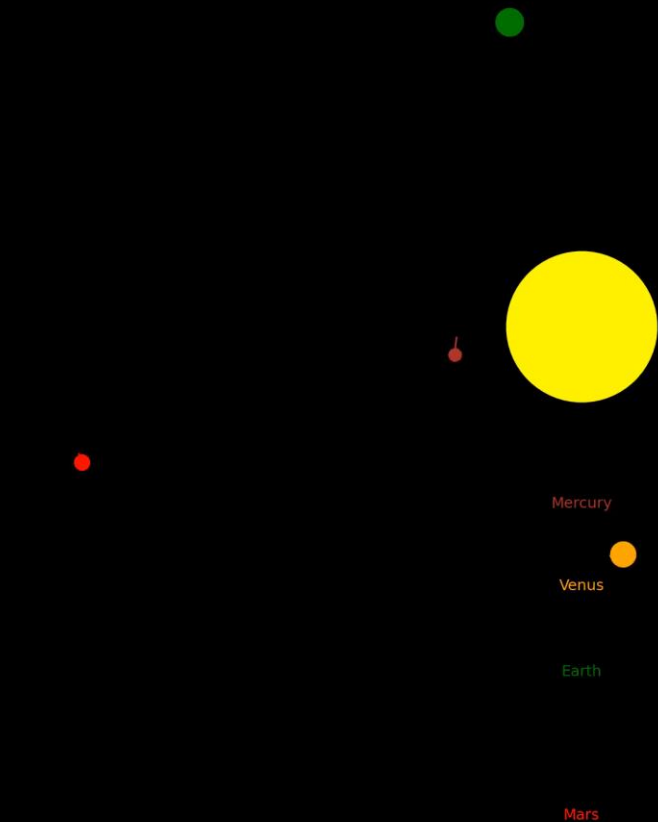
# Modelo 2

Date: 2018-01-04



# Zoom Modelo 2

Date: 2018-01-04




The background is a dark blue space scene with white stars and wavy blue lines representing nebulae. On the left, there are three illustrations: a ringed planet (like Saturn) with an orange body and light blue rings, a colorful planet with orange, green, and blue swirling patterns, and a stylized atom with a central yellow nucleus and three elliptical orbits in orange, green, and blue.

09

# Análisis de Resultados



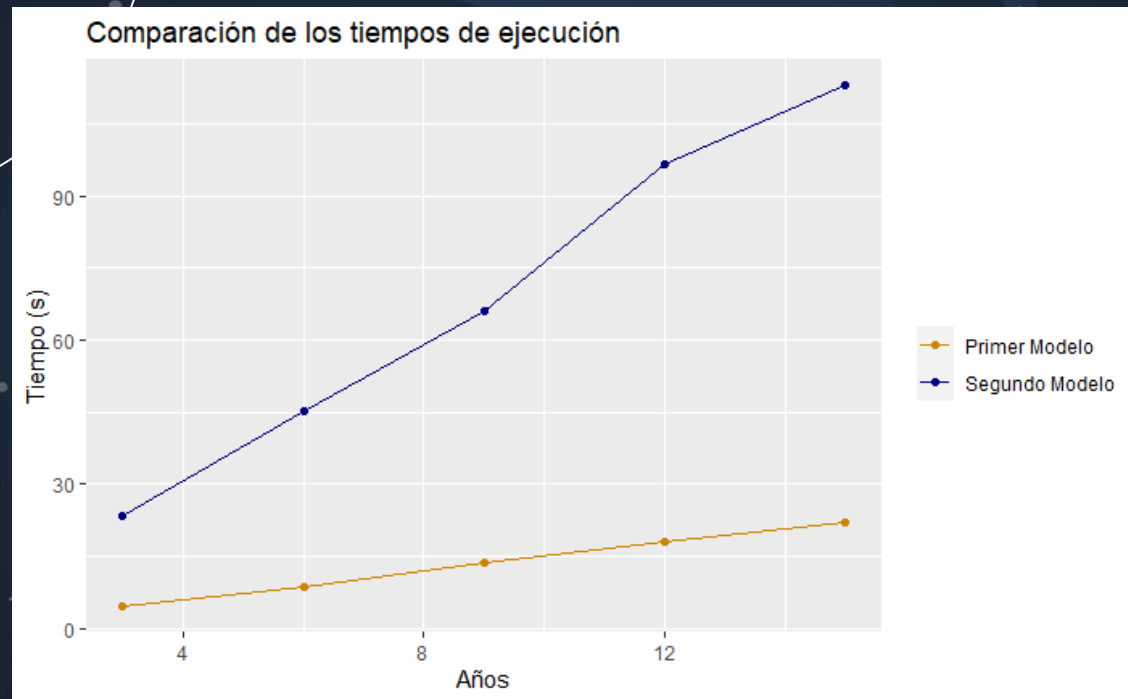
The background is a dark blue space scene with wavy lines and small white dots representing stars. In the upper left, a yellow comet with a blue and white polka-dot nucleus is streaking. In the lower left, a yellow rocket with green fins and a blue and white striped circular window is launching. A small yellow star is on the left, and a small cyan star is in the upper middle. A large white arc is on the right side of the image.


# Resultados del tiempo de ejecución

# Análisis de Resultados

	Tiempo de ejecución (s)				
	3 años	6 años	9 años	12 años	15 años
Modelo 1	4.67	8.61	13.80	18.22	21.94
Modelo 2	23.53	45.37	66.18	96.58	113.05

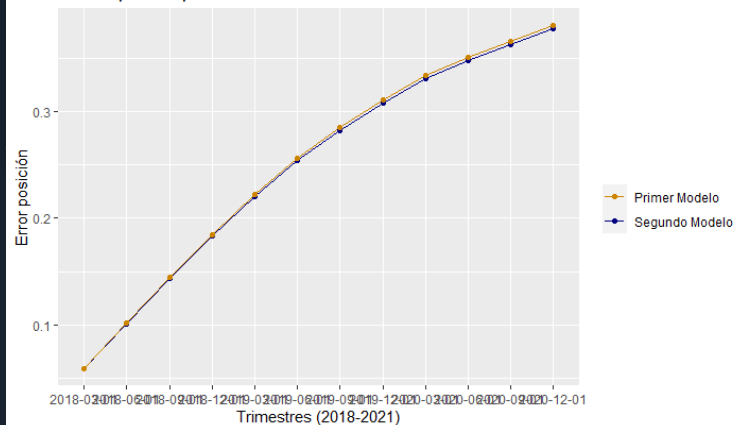
# Análisis de Resultados



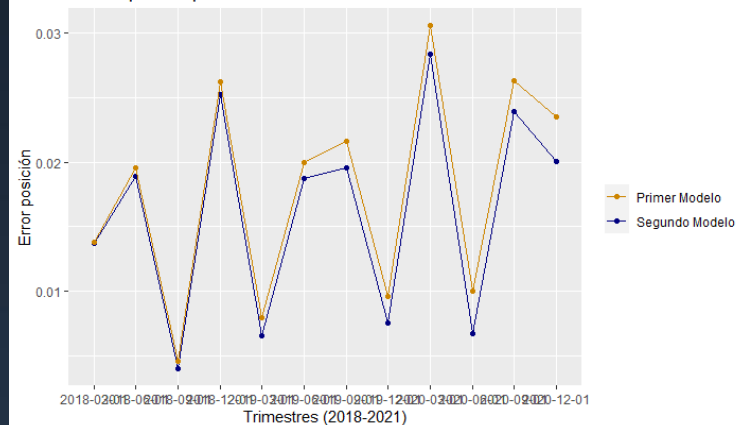
The background is a dark blue space scene. In the upper left, a comet with a blue and white nucleus and a long orange and yellow tail is streaking across the sky. Below it, a yellow five-pointed star is visible. In the lower left, there is an orange planet with a prominent blue ring system. Another yellow star is located further to the left. In the upper right, a light blue star is present. The right side of the image is dominated by a large, white, semi-transparent circular arc that frames the text. The text itself is in a clean, white, sans-serif font.

# Resultados del RMSE, posición

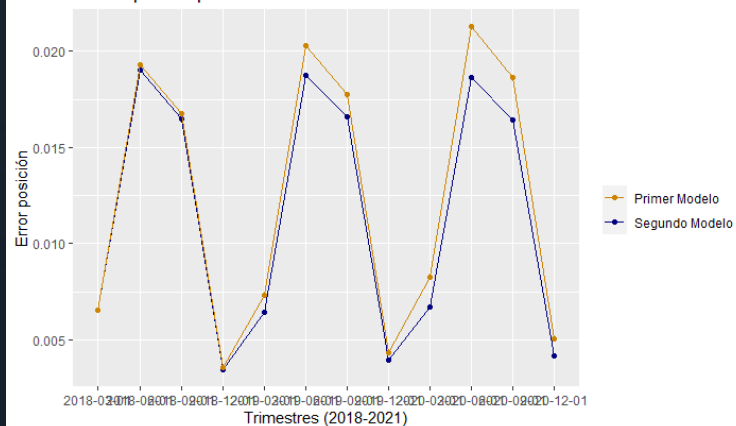
RMSE para la posición de Mercurio



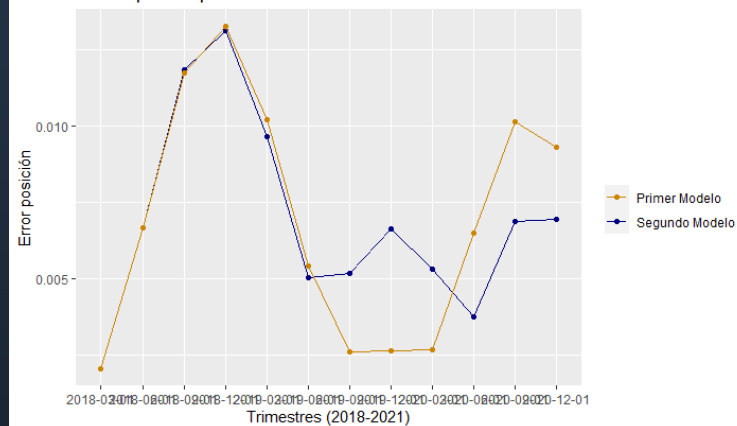
RMSE para la posición de Venus



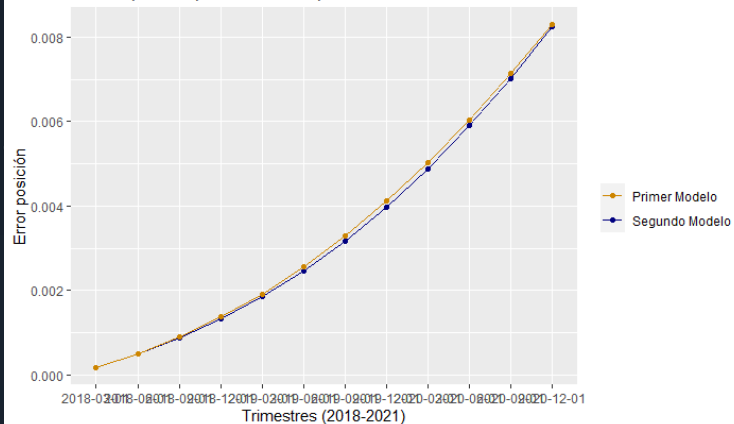
RMSE para la posición de la Tierra



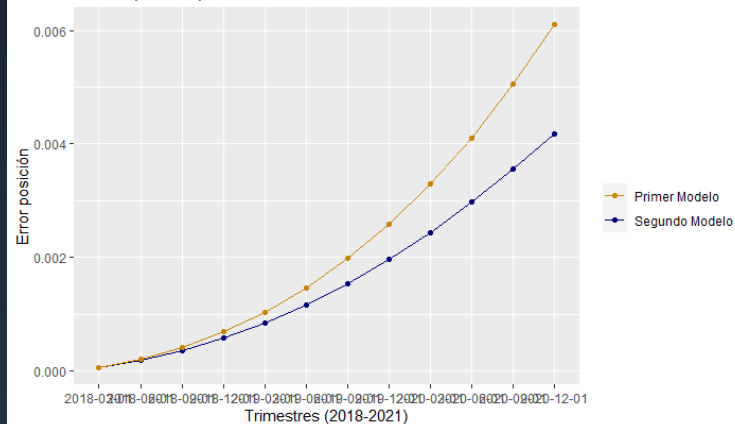
RMSE para la posición de Marte



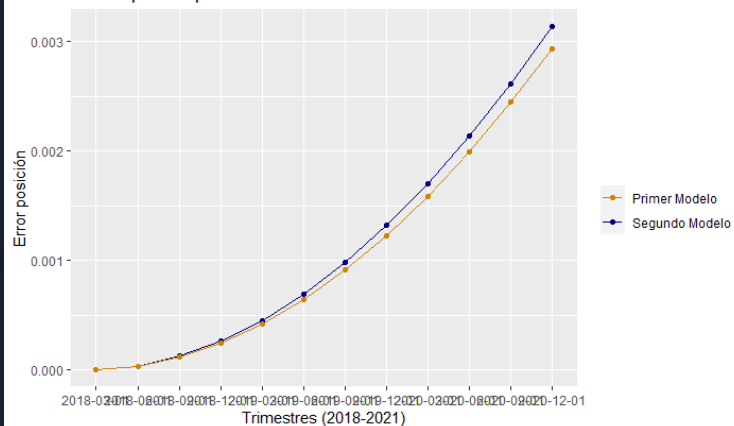
RMSE para la posición de Júpiter



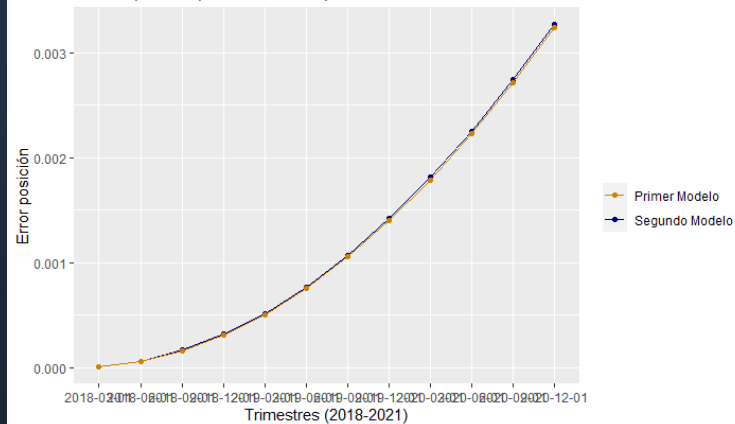
RMSE para la posición de Saturno



RMSE para la posición de Urano

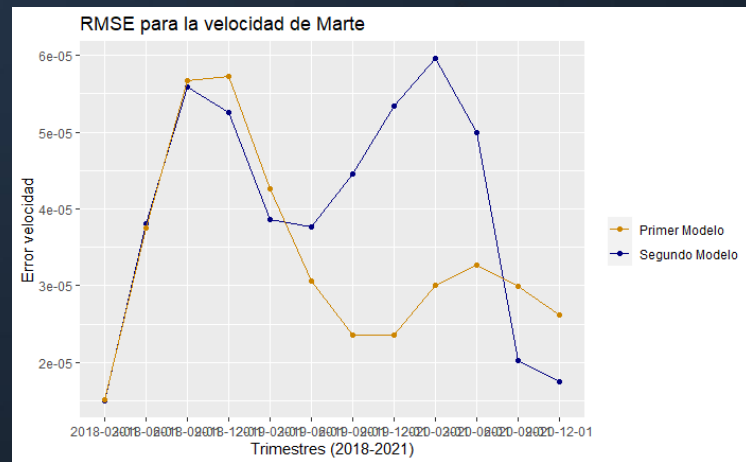
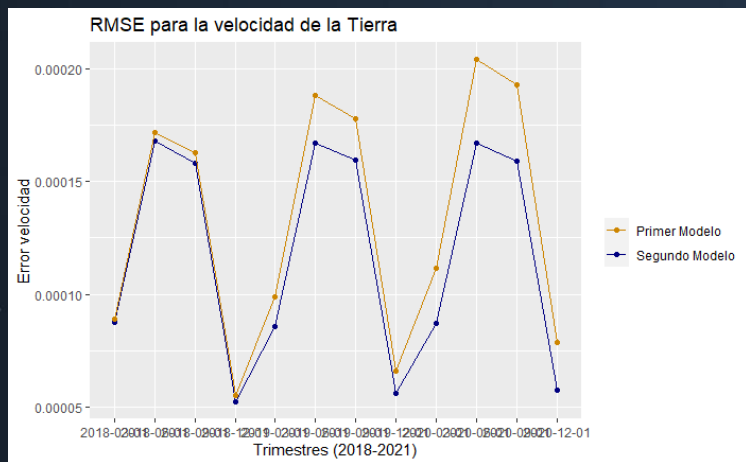
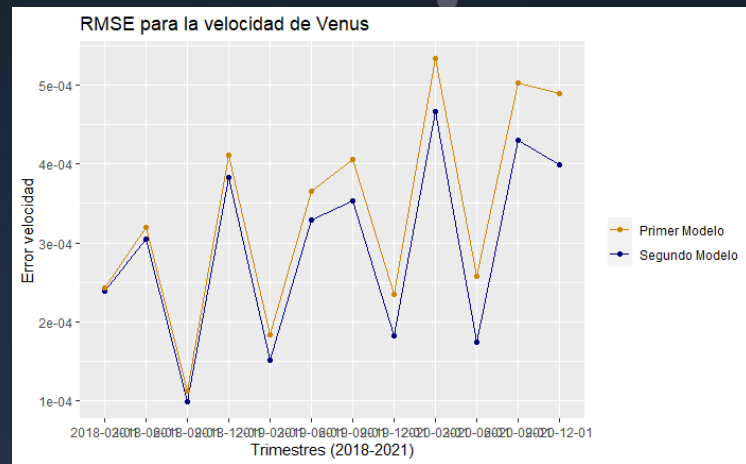
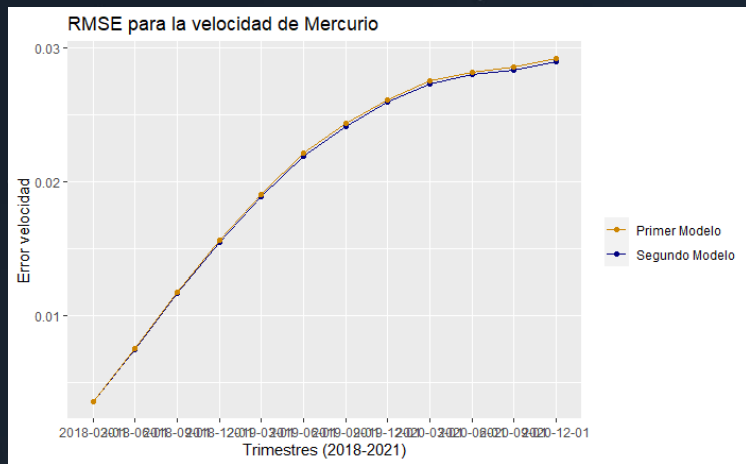


RMSE para la posición de Neptuno



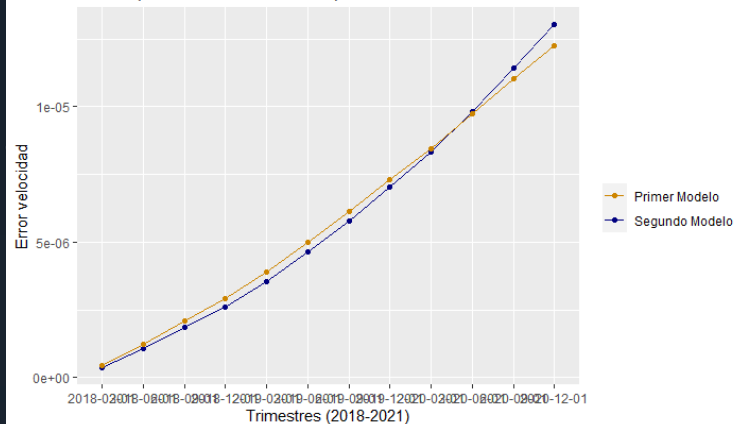
The background is a dark blue space scene. In the upper left, a comet with a blue and white nucleus and a long orange and yellow tail is streaking across the sky. Below it, a small yellow star is visible. To the right of the comet, a small light blue star is positioned. In the lower left, a stylized Earth with green continents and blue oceans is shown. The right side of the image features a large, faint white arc and several horizontal wavy bands in shades of blue. The text "Resultados del RMSE, velocidad" is written in white on the right side.

# Resultados del RMSE, velocidad

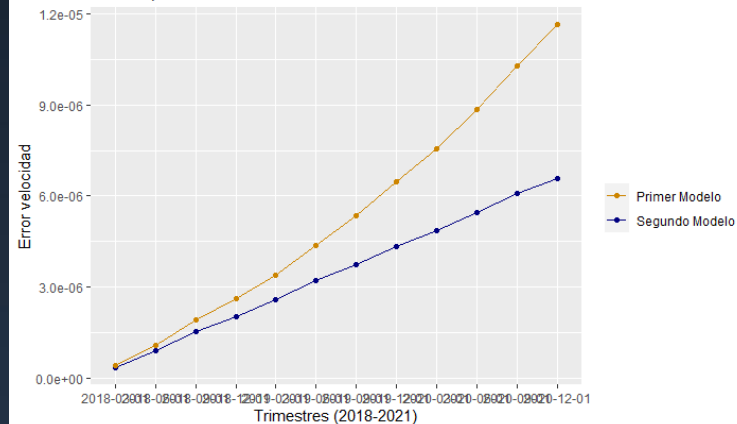




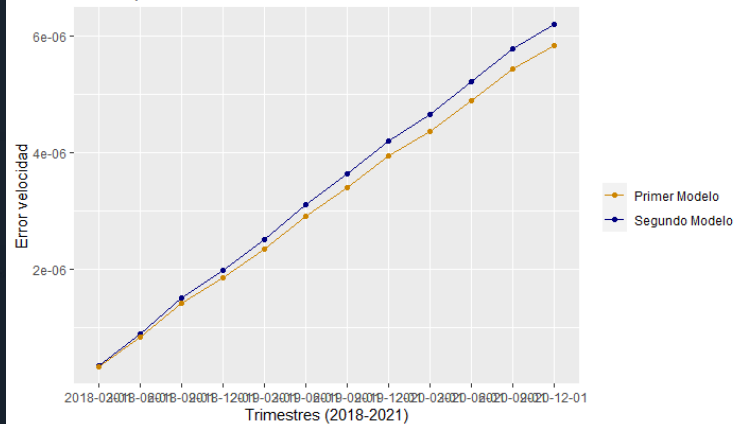
RMSE para la velocidad de Júpiter



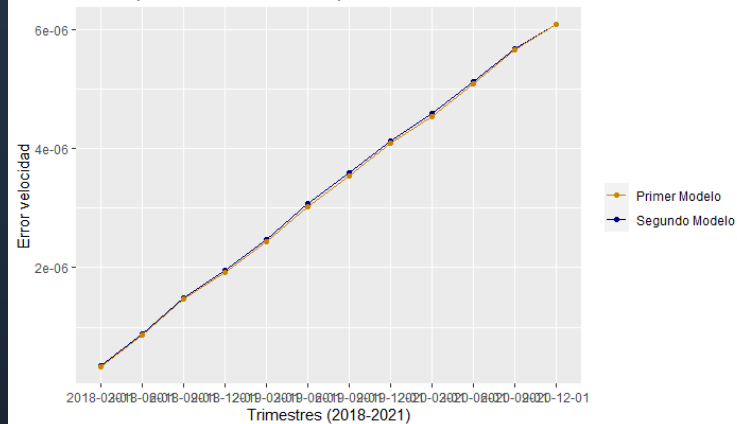
RMSE para la velocidad de Saturno



RMSE para la velocidad de Urano



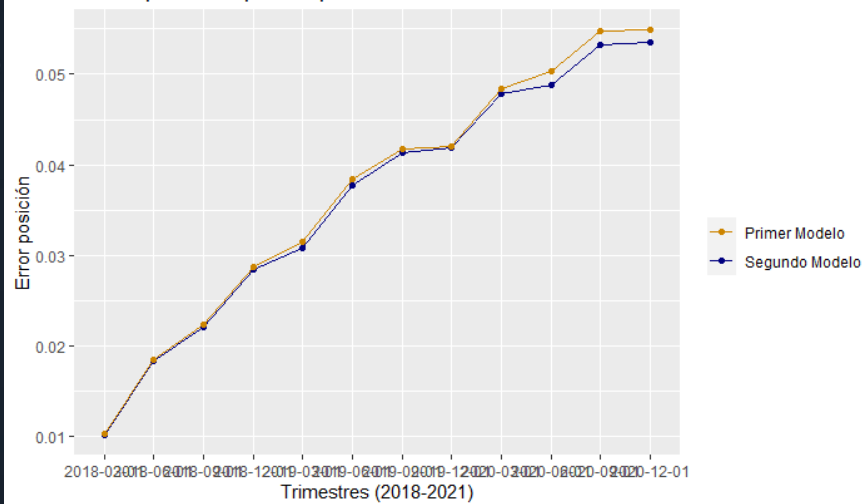
RMSE para la velocidad de Neptuno



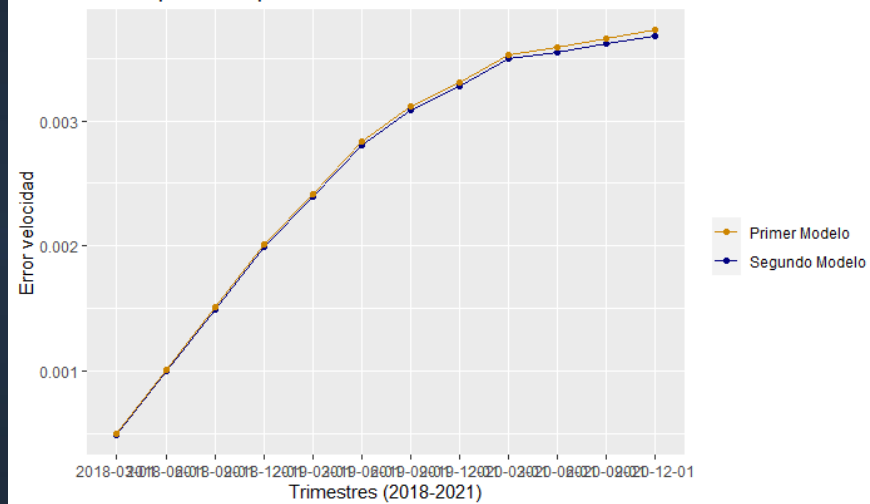
The background is a dark blue space scene. In the upper left, a comet with a blue and white nucleus and a long orange and yellow tail is streaking across the sky. Below it, a small yellow star is visible. To the right of the comet, a light blue star is positioned. In the lower left, a stylized Earth with green continents and blue oceans is shown. The right side of the image features a large, faint white arc and several small white dots representing distant stars.

# Resultados del RMSE promedio

RMSE promedio para la posición de los Planetas



RMSE promedio para la velocidad de los Planetas

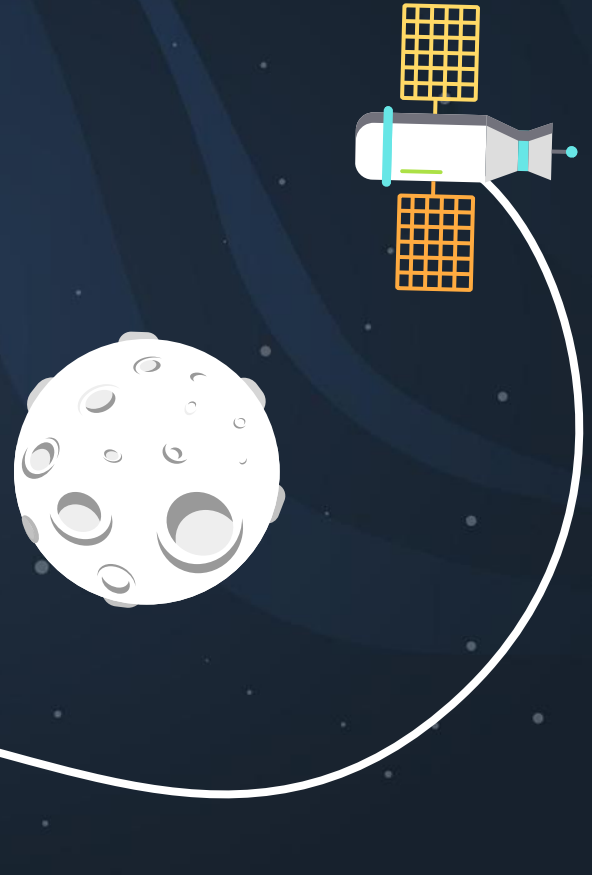




# Conclusiones

# Conclusiones

- Ambos modelos cumplen con su propósito de acuerdo a lo esperado al momento de plantear cada uno.
- De acuerdo al modelo matemático planteado para la simulación, la cinemática depende de la masa de los cuerpos, en especial de aquellos de mayor masa, junto con la distancia existente entre ellos.
- Debido a que el estudio de la simulación se centra en cuerpos de gran masa, se puede concluir que al tomar el Sol junto con los planetas se obtienen buenos modelos.
- Si se quisiera mejorar la precisión de la simulación, sería necesario basarse en la teoría de la relatividad general de Einstein para obtener mejores resultados.
- La animación en 2D permitió visualizar el modelo en funcionamiento.





¡Gracias!