

Physics in Silico

Rendición de cuentas

Proyecto

Modelado geométrico en tres dimensiones del sistema Tierra-Luna-Sol para la predicción de eclipses solares totales y anulares

Coordinador

Oscar Güell Zavaleta

Colaboradores

Andrew Vargas Alfaro

Hernán Barquero

Barnald Bocker Brenes

Última actualización: 26 de octubre de 2025

Estado de la cuestión

A continuación, se presenta un resumen de los principales avances logrados en el proyecto *Predicción de Eclipses* hasta la fecha de cierre de la primera Junta Directiva de *Physics in Silico*.

Se redactó un anteproyecto y, como paso siguiente, se definió como objetivo principal la creación de un modelo que permita predecir la fecha y la localización en la Tierra de eclipses solares totales, parciales y anulares. Para apoyar este objetivo, se recopiló documentación relevante para explorar los antecedentes del tema escogido y se estableció un [repositorio de GitHub](#) para centralizar todos los archivos correspondientes. Posteriormente, se desarrolló un código para la simulación del problema de los tres cuerpos mediante dinámica hamiltoniana y se generaron muestras gráficas de diversas condiciones iniciales del modelo hamiltoniano.

Se adoptó un enfoque geométrico considerando al Sol estático en el origen y se inició la redacción de un artículo asociado al proyecto, cuyo contenido fue posteriormente trasladado a un cuaderno de trabajo (*Jupyter Notebook*) oficial. Se definió la *Base Solar* como sistema de referencia para modelar la órbita terrestre mediante coordenadas polares - véase la Figura 1 - y se formuló el vector posición de la Tierra, \vec{r}_T , en función del tiempo. Asimismo, se estableció la *Base Orbital* como sistema de referencia para la órbita lunar - véase la Figura 2 - y se implementó la estrategia de obtener las inversas de las matrices de rotación necesarias para alinear la base solar con la base orbital, considerando la oscilación de la inclinación respecto a la eclíptica, así como la precesión nodal y apsidal. Para visualizar estos movimientos, se creó el archivo *Simulación de la órbita de la Luna.ggb* y

se formuló el vector posición de la Luna, \vec{r}_L , en función del tiempo. Se extrajo una serie de datos para la excentricidad lunar - véase la Figura 3 - y se aproximó una ecuación mediante un ajuste de Fourier con N términos - véanse las Figuras 4 y 5. Además, se creó una animación de la órbita lunar resultante del modelo actual, empleando una esfera terrestre estática en el origen.

Con el fin de generar la superficie terrestre, se implementó el modelo de Javier Gil Chica - véase la Figura 6 - y se utilizó una variación de las coordenadas esféricas - véase la Figura 7. Se definió la *Base Terrestre*, con un *punto 0.0* asociado, para modelar los puntos en \mathbb{R}^3 correspondientes a la superficie terrestre, aplicando las inversas de las matrices de rotación necesarias para alinear la base terrestre con la base solar, considerando rotación, precesión y nutación. Posteriormente, se creó una función para animar el movimiento de la superficie terrestre y se empleó análisis geométrico para obtener el vector posición del vértice \vec{V} del cono de umbra y penumbra de la Luna - véanse las Figuras 8 y 9. A partir de ello, se derivó la expresión para la curva directriz del cono mediante la intersección de un plano, en función de un punto \vec{P} , con la esfera solar - véase la Figura 10 - y se obtuvo la ecuación explícita del cono en función del vértice \vec{V} y, por tanto, de la posición lunar \vec{r}_L . Además, se creó el archivo *Cono de umbra y penumbra.ggb* para visualizar la implementación de la ecuación para una órbita lunar arbitraria. Finalmente, se definieron las condiciones que determinan cuándo se generará el cono en la simulación.

Funciones implementadas

- **mov_Tierra:** Genera una animación tridimensional del movimiento de la superficie terrestre considerando los efectos combinados de *nutación*, *precesión* y *rotación*. Permite visualizar la rotación de la Tierra mediante matrices de transformación simbólicas aplicadas secuencialmente y muestra el desplazamiento de un punto sobre la superficie para ilustrar la orientación relativa.

Parámetros de entrada:

- **T.N:** Periodo de nutación (en días/segundo).
- **T.P:** Periodo de precesión (en días/segundo).
- **T.R:** Periodo de rotación (en días/segundo).
- **t.f:** Tiempo total de la simulación (en segundos de animación).
- **fps:** Número de cuadros por segundo de animación.
- **save_file:** Valor booleano que indica si se guarda el archivo en formato **.mp4**.

Devuelve un objeto HTML que contiene la animación interactiva de la Tierra en rotación. Si **save_file=True**, genera además un archivo de video **mov_Tierra.mp4**.

- **orbita_lunar_dias:** Genera una animación tridimensional de la trayectoria de la Luna alrededor de la Tierra considerando los radios de ambos cuerpos y el semieje mayor de la órbita lunar. La animación muestra la posición de la Luna y la trayectoria acumulada a lo largo del tiempo, así como la representación de una esfera terrestre estática en el origen como referencia visual.

Parámetros de entrada:

- **R.T:** Radio de la Tierra.

- `R.L`: Radio de la Luna.
- `a.L`: Semieje mayor de la órbita lunar.
- `t.f`: Duración de la animación en segundos.
- `D`: Días reales representados por segundo de animación.
- `fps`: Frames por segundo de la animación.
- `save_file`: Valor booleano que indica si se guarda el archivo en formato `.mp4`.

Devuelve un objeto `HTML` que contiene la animación interactiva de la órbita lunar. Si `save_file=True`, genera además un archivo de video `orbita_lunar.mp4`.

Futuro del proyecto

Se prevé la creación de material divulgativo referente a los conos de umbra, antumbra y penumbra, así como la determinación de un modelo para la discretización ordenada de la superficie terrestre. Para optimizar el cálculo de eclipses, se planea implementar una estrategia que recorra únicamente aquellas regiones de la superficie donde puedan ocurrir eclipses y que permita generar los conos de manera delimitada, calculando así de forma eficiente las intersecciones. Además, se desarrollará una proyección cartográfica basada en el *punto* 0,0 para asociar los puntos de intersección con un mapa terrestre y se generará una función capaz de detectar eclipses a partir de condiciones iniciales de simulación para un intervalo de tiempo dado. Finalmente, se llevará a cabo el análisis de un eclipse registrado con el fin de determinar las condiciones iniciales necesarias para predecirlo con exactitud, así como la evaluación de la escalabilidad temporal y precisión del método de modelado desarrollado. Con base en lo anterior, se implementará una interfaz de usuario que permita buscar eclipses por orden relativo, seleccionar un rango temporal o consultar fechas específicas. Adicionalmente, se completará la redacción de un artículo científico y su respectiva publicación, se elaborará un póster para presentar el proyecto y se diseñarán charlas de diversa complejidad técnica con fines de divulgación.

Anexo

Figura 1: Diagrama de la órbita de la Tierra, con representación de la *anomalía verdadera*.

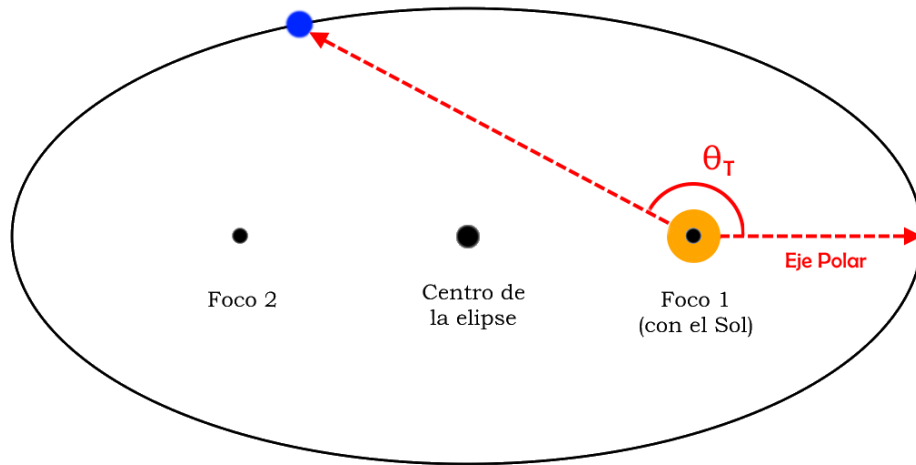


Figura 2: Diagrama de la *Base Orbital* en comparación con la *Base Solar*.

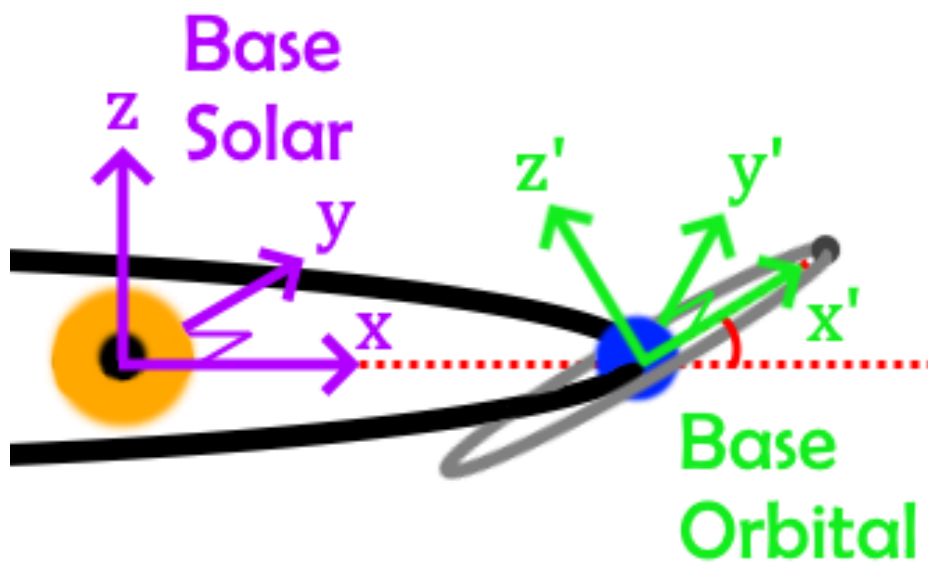


Figura 3: Datos extraídos sobre excentricidad lunar en función del tiempo

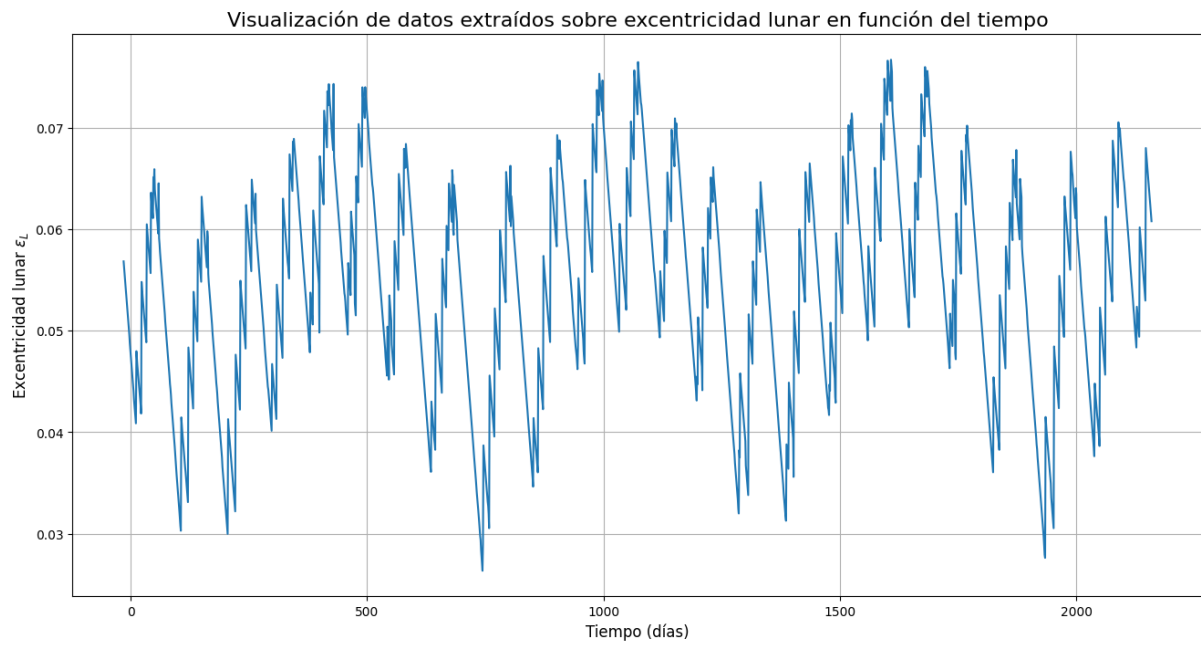


Figura 4: Ajuste de Fourier con 50 términos para la curva de excentricidad lunar en función del tiempo

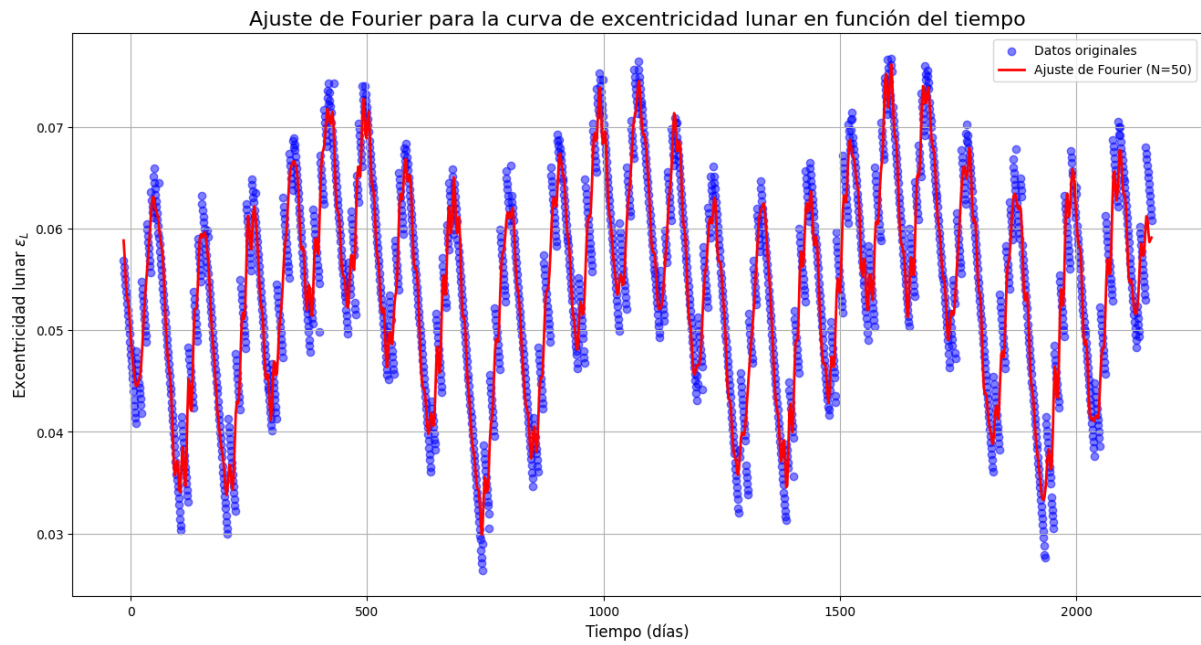


Figura 5: Excentricidad lunar ajustada ϵ_L en función del tiempo

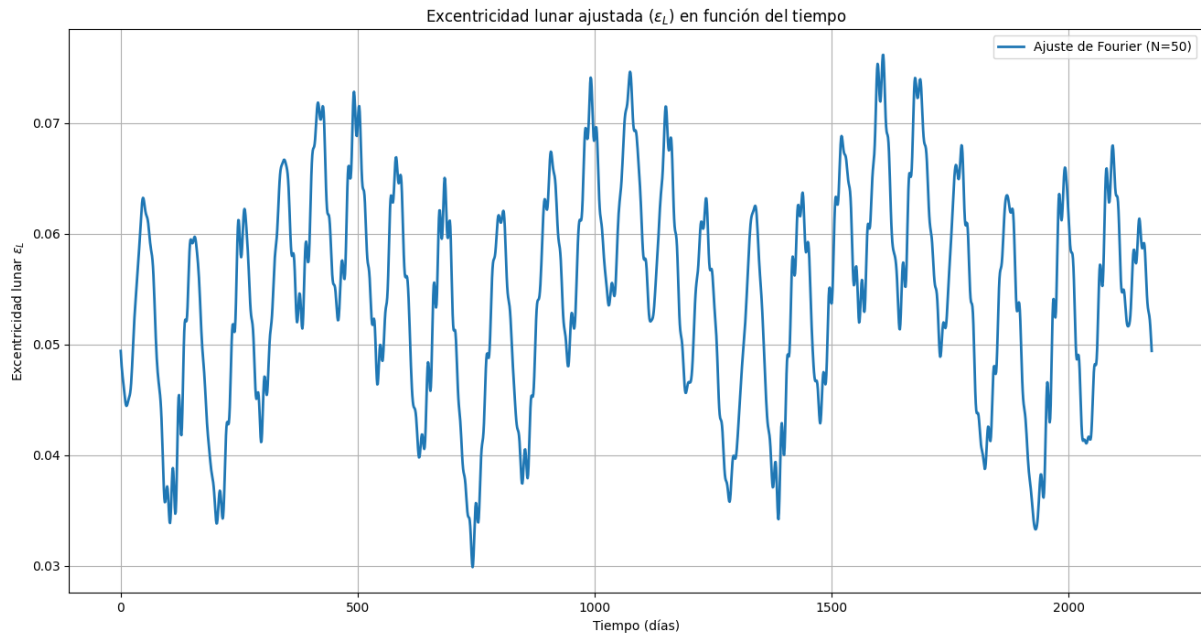


Figura 6: Sección meridiana de la Tierra con el *modelo de Chica*.

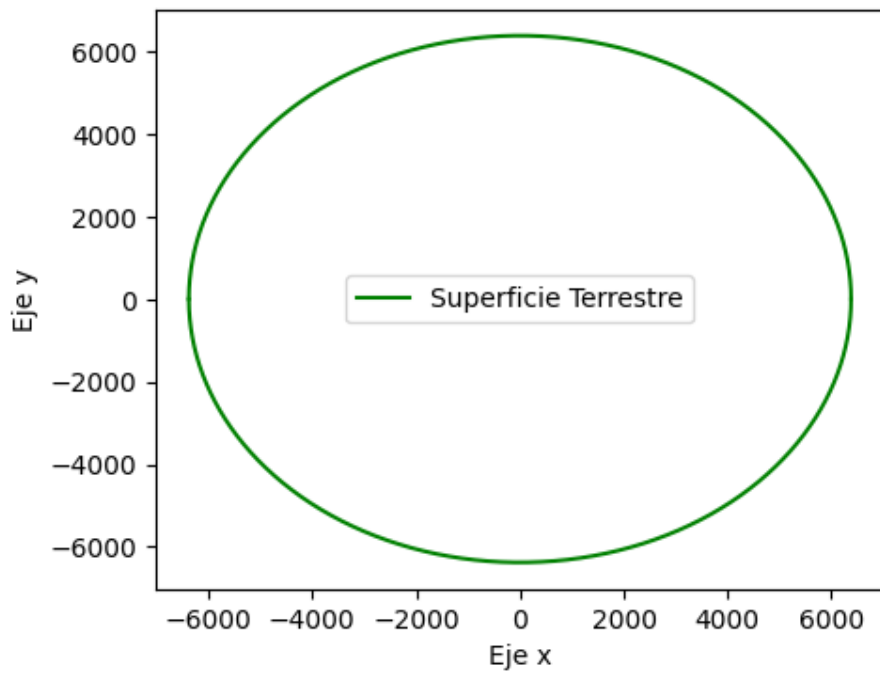


Figura 7: Superficie terrestre tridimensional con el modelo de Chica modifiicado.
Superficie terrestre - Modelo de Chica modificado

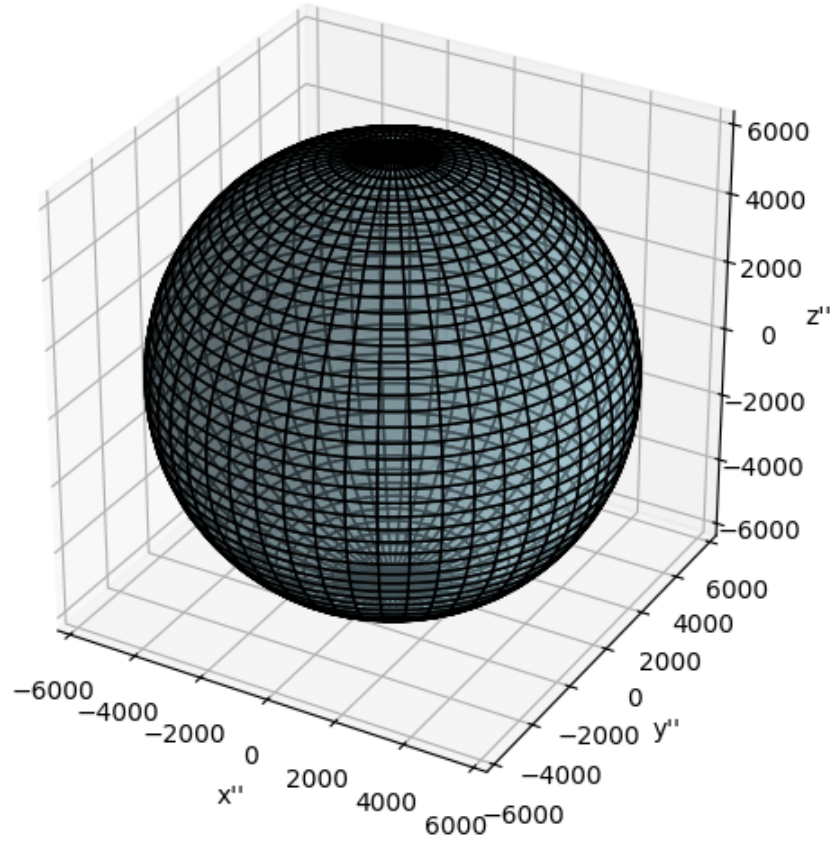


Figura 8: Obtención del vértice del cono de penumbra en función de la posición lunar.

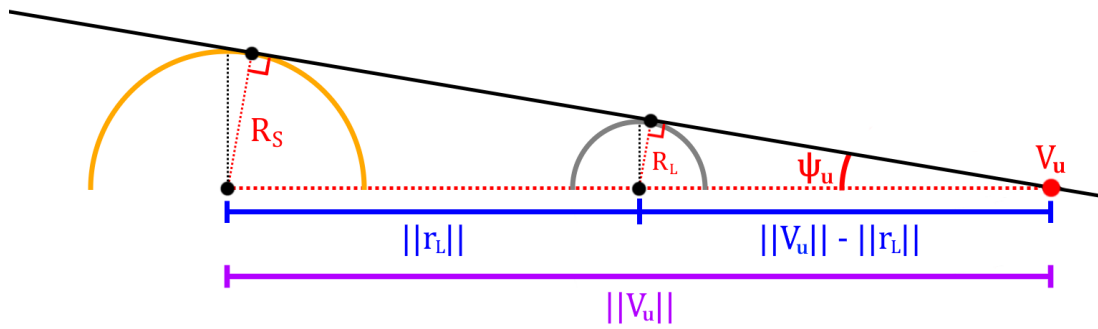


Figura 9: Obtención del vértice del cono de penumbra en función de la posición lunar.

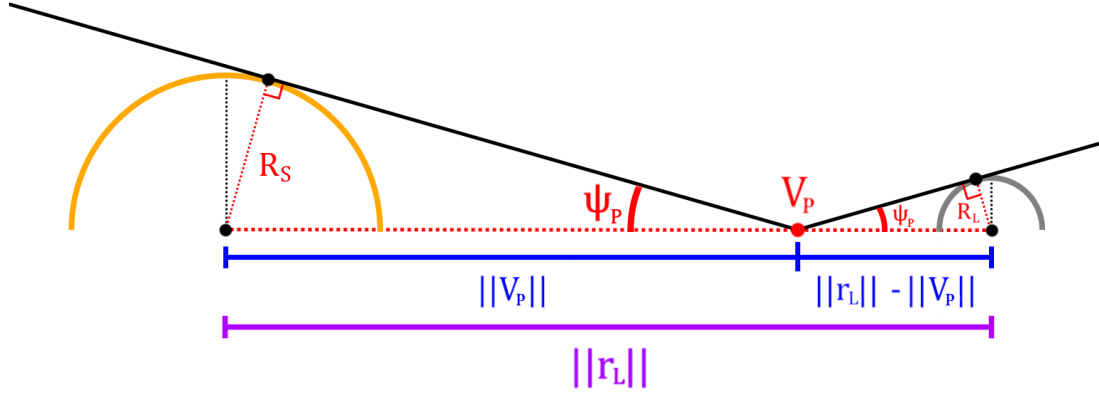


Figura 10: Cálculo de la distancia a un punto de la curva generatriz

