



# Pontificia Universidad Javeriana

## **Asignatura:**

Análisis Numérico

## **Docente:**

Eddy Herrera Daza

## **TALLER 1**

## **Integrantes:**

Heyling Burgos Algarín

*burgosaheyling@javeriana.edu.co*

Fabian Andres Olarte Vargas

*olarte.fabian@javeriana.edu.co*

Johan Mateo Rosero Quenguan

*roseroq - j@javeriana.edu.co*

Andrés Felipe Vásquez Rendón

*af.vasquezr@javeriana.edu.co*

Agosto 2021

# Índice

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Introducción</b>                                                 | <b>2</b>  |
| <b>2. Método de la secante</b>                                         | <b>2</b>  |
| 2.1. Explicación Geométrica del Algoritmo . . . . .                    | 2         |
| 2.2. ¿Qué condiciones existen para aplicar el método? . . . . .        | 3         |
| 2.3. Diagrama de Flujo . . . . .                                       | 3         |
| 2.4. Código Fuente . . . . .                                           | 4         |
| 2.5. Solución del Problema . . . . .                                   | 5         |
| 2.6. Gráficas . . . . .                                                | 9         |
| 2.6.1. Gráficas de Funciones . . . . .                                 | 9         |
| 2.6.2. Gráficas Relación Tolerancia Vs Número de iteraciones . . . . . | 12        |
| 2.6.3. Gráficas de errores . . . . .                                   | 15        |
| <b>3. Conclusiones</b>                                                 | <b>19</b> |

# 1. Introducción

En el presente documento se plantea el método de la secante como una solución a distintos problemas numéricos. Asimismo, se analizará la forma correcta para usar de manera eficiente dicho algoritmo, en cuanto a: las condiciones iniciales, los órdenes de convergencia y la relación entre la tolerancia y las iteraciones. Del mismo modo, se compara contra otros algoritmos, tales como, de Bisección, Aitken y Steffensen para analizar el cambio de la raíz en cada uno de sus resultados.

**Conceptos Clave:** Algoritmo de la Secante.

**Palabras Clave:** Algoritmo, Iteraciones, Tolerancia, Convergencia, Significancia.

## 2. Método de la secante

### 2.1. Explicación Geométrica del Algoritmo

El método de la Secante es una variación del método de Newton-Raphson, ya que en este no es necesario calcular la derivada, sino que se aproxima una recta secante a la curva, siendo la pendiente de esta una aproximación a la derivada de la función. A continuación, se presentan los pasos para llegar de Newton-Raphson al método de la Secante. [1]

$$f'(x) \approx \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} \quad (1)$$

Aproximación de la derivada.

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (2)$$

Método de Newton Raphson.

$$x_{n+1} = x_n - f(x_n) * \frac{x_n - x_{n-1}}{f(x_n) - f(x_{n-1})} \quad (3)$$

Proceso iterativo de la secante.

Después de la explicación histórica del método de la secante, a continuación, se presenta la explicación geométrica del método:

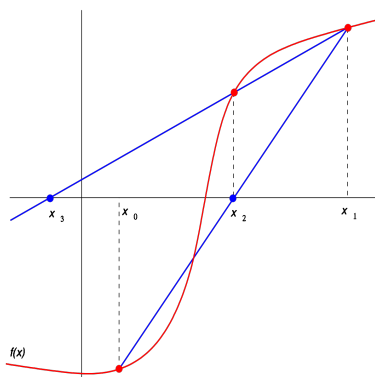


Figura 1: Cálculo del Segundo Valor Provisional

Como podemos ver en la anterior figura, se suponen dos valores iniciales como  $x_0$  y  $x_1$  para trazar una recta secante por encima de estas. Luego de obtener esa recta secante se obtiene el punto  $x_2$  que es el punto de corte cuando la función es igual a 0. Al hacer esta iteración se proyecta este punto en la gráfica para poder reemplazar este nuevo valor en la función y trazar una recta secante entre el valor inicial  $x_1$  y  $x_2$ , obteniendo así el valor de  $x_3$  siendo el punto de corte cuando la función es 0. Así se continua iterativamente hasta lograr la tolerancia deseada. [2]

## 2.2. ¿Qué condiciones existen para aplicar el método?

El algoritmo de la secante debe tener unas condiciones iniciales para que pueda funcionar correctamente, sin ellas no se conseguiría el resultado deseado. Estas condiciones son:

1. La función a evaluar debe ser continua en cada punto para el intervalo dado entre  $[a,b]$ . [3]
2. Si una función contiene una raíz en el intervalo  $[a,b]$  si ambos contienen un signo opuesto, esto quiere decir que sigue la condición:

$$f(a) \cdot f(b) < 0 \quad (4)$$

Esto es conocido como el Teorema de Bolzano. [4]

3. Del mismo modo, se debe cumplir con la condición

$$|f(b)| < |f(a)| \quad (5)$$

tal que  $b$  sea la mejor candidata que  $a$  para ser raíz. [5]

## 2.3. Diagrama de Flujo

En la Figura 2, se puede observar el diagrama de flujo del Algoritmo Secante:

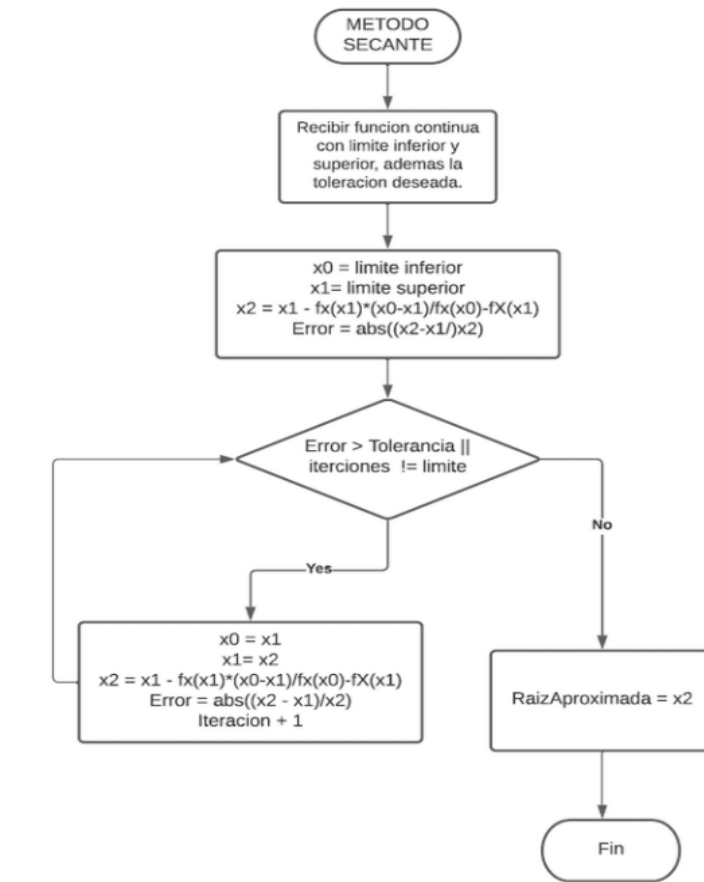


Figura 2: Diagrama de flujo método secante.

## 2.4. Código Fuente

En el listing 1, se puede ver la implementación del Algoritmo Secante en Python:

```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import warnings
4 warnings.filterwarnings("ignore", category=DeprecationWarning)
5
6 def Secante (fx, t, a, b): #Recibe una funcion continua
7
8     i = 0 #Iteraciones
9     aux = 0
10    puntos = []
11
12    # Algoritmo
13    x0 = a
14    x1 = b
15    #dlt = 0.1
16    x2 = np.longdouble((x1) - ((fx(x1))*(x0-x1))/np.longdouble(fx(x0) - fx(x1))) #Algoritmo Inicial
17    #x2 = x0 - ((dlt*fx(x0))/(fx(x0+dlt) - fx(x0))) #Metodo modificado

```

```

18     i += 1
19     errorR = abs(np.longdouble((x2-x1)/x2))
20
21     while abs(np.longdouble((x2-x1)/x2)) > t:
22
23         aux = errorR
24         x0 = x1
25         x1 = x2
26         x2 = np.longdouble((x1) - ((fx(x1))*(x0-x1))/np.longdouble(fx(x0) -
fx(x1))) #Algoritmo Inicial
27         #x2 = x0 - ((dlt*fx(x0))/(fx(x0+dlt) - fx(x0)))
28         i += 1
29
30         if i>2000000:
31             aux = 1
32             break
33
34         errorR = abs(np.longdouble((x2-x1)/x2))
35         if i > 5:
36             puntos.append((aux, errorR))
37
38     print("\nMETODO SECANTE:\nLa raiz aproximada es: {} / Numero de iteraciones
: {} / Tolerancia: {}".format(x1, i, t))
39     if aux == 1:
40         print("Diverge")
41
42     # Grafico
43     plt.xlabel("X")
44     plt.ylabel("Y")
45     x = np.arange(a, b, 0.1)
46     plt.figure(0)
47     plt.plot(x,fx(x))
48     xs = np.linspace(a,b,100)
49     horiz_line_data = np.array([0 for i in range(len(xs))])
50     plt.plot(xs, horiz_line_data, 'r--')
51     plt.plot(x1, fx(x1), "ro")
52
53     return puntos

```

Listing 1: Código en Python intersección entre dos curvas

## 2.5. Solución del Problema

Dada las ecuaciones siguientes se les aplica el método de la secante para la obtención de las raíces cuando la función es igual a 0. Cabe resaltar que para la aplicación del algoritmo, se empleo un tipo de dato de tipo doble precisión extendida (*numpy.longdouble*) y junto con el  $\epsilon$ <sup>1</sup> de la maquina se logra la mejor exactitud que la maquina puede alcanzar, permitiendo así obtener la mayor precisión posible en los resultados propuestos a continuación.

$$f(x) = \cos^2(x) - x^2 \quad (6)$$

Para la ecuación 6, se obtuvieron los siguientes resultados:

---

<sup>1</sup>Para el caso de la maquina en la cual se desarrollaron todas las pruebas, el  $\epsilon$  es de  $2e^{-16}$

| Tolerancia | Secante             | Iter. Secante | Bisección           | Iter. Bisección |
|------------|---------------------|---------------|---------------------|-----------------|
| $1e^{-8}$  | -0.7390851332300535 | 10            | -0.73908512853086   | 30              |
| $1e^{-16}$ | -0.7390851332151607 | 11            | -0.7390851332151607 | 54              |
| $1e^{-32}$ | -0.7390851332151607 | 11            | -0.7390851332151607 | 54              |
| $1e^{-56}$ | -0.7390851332151607 | 11            | -0.7390851332151607 | 54              |

Tabla 1: Resultados obtenidos para la función 6.

| Tolerancia | Aitken             | Iter. Aitken | Seteffensen        | Iter. Steffensen |
|------------|--------------------|--------------|--------------------|------------------|
| $1e^{-8}$  | 0.7390851332151607 | 5            | 0.7390851332151607 | 3                |
| $1e^{-16}$ | 0.7390851332151607 | 5            | 0.7390851332151607 | 3                |
| $1e^{-32}$ | 0.7390851332151607 | 5            | 0.7390851332151607 | 3                |
| $1e^{-56}$ | 0.7390851332151607 | 5            | 0.7390851332151607 | 3                |

Tabla 2: Resultados Metodos Aitken y Steffensen para la función 6.

Como podemos observar en la tabla 1, la primera tolerancia correspondiente a  $1e^{-8}$ , ambos métodos contienen un número de iteraciones mínimo con respecto a las otras. En el caso del método secante se puede observar que realiza 10 iteraciones con un resultado significancia menor al método de bisección que contiene 30 iteraciones. Asimismo, las demás tolerancias contienen el mismo número de iteraciones (secante 11, bisección 54), los resultados de esas iteraciones entre ambos métodos resultan con un mismo número de significancia.

Por otro lado, en la tabla 2 se puede observar cómo ambos métodos de convergencia rápida, logran llegar al resultado mas aproximado desde la primera tolerancia, con iteraciones de cinco para el método de Aitken y tres para Steffensen

$$f(x) = e^x - x - x^2 \quad (7)$$

Para la ecuación 7, se obtuvieron los siguientes resultados:

| Tolerancia | Secante               | Iter. Secante | Bisección             | Iter. Bisección |
|------------|-----------------------|---------------|-----------------------|-----------------|
| $1e^{-8}$  | -1,95741586578854E+08 | 40            | -1,49011611938476E+08 | 27              |
| $1e^{-16}$ | -1,95741586578854E+08 | 40            | -1,49011611938476E+08 | 27              |
| $1e^{-32}$ | -1,95741586578854E+08 | 40            | -1,49011611938476E+08 | 27              |
| $1e^{-56}$ | -1,95741586578854E+08 | 40            | -1,49011611938476E+08 | 27              |

Tabla 3: Resultados obtenidos para 7.

| Tolerancia | Aitken                | Iter. Aitken | Seteffensen           | Iter. Steffensen |
|------------|-----------------------|--------------|-----------------------|------------------|
| $1e^{-8}$  | -6,47158717725915E-08 | 40813        | -5,72255589652161E-06 | 16               |
| $1e^{-16}$ | -6,47158717725915E-08 | 40813        | -5,72255589652161E-06 | 16               |
| $1e^{-32}$ | -6,47158717725915E-08 | 40813        | -5,72255589652161E-06 | 16               |
| $1e^{-56}$ | -6,47158717725915E-08 | 40813        | -5,72255589652161E-06 | 16               |

Tabla 4: Resultados obtenidos para 7.

Como se puede observar en la tabla 3, todas las iteraciones del método secante dan como resultado 40 y en el método bisección se obtiene un 27 sin importar la tolerancia usada. Del mismo modo, el resultado de la secante contiene más significancia que el método de bisección.

Por otra parte, en la 4 se logra apreciar como ambos métodos llegan a un resultado distinto pero obteniendo valores cercanos a la raíz, que en este caso es cero. Además de esto, el método de Aitken tiene un mayor número de iteraciones, 40813, a diferencia de Steffensen que tiene apenas solo 16. Cabe resaltar que, ambos métodos logran hallar esta raíz por condiciones puestas en código; las cuales, permiten obtener el valor anterior antes de que se desarrolle una división por cero.

$$f(x) = x^3 - 2x^2 + \frac{4x}{3} - \frac{8}{27} \quad (8)$$

Para la ecuación 8, se obtuvieron los siguientes resultados:

| Tolerancia | Secante            | Iter. Secante | Bisección          | Iter. Bisección |
|------------|--------------------|---------------|--------------------|-----------------|
| $1e^{-8}$  | 0.6666722860337118 | 43            | 0.6666660308837891 | 19              |
| $1e^{-16}$ | 0.6666722860337118 | 42            | 0.6666660308837891 | 19              |
| $1e^{-32}$ | 0.6666722860337118 | 42            | 0.6666660308837891 | 19              |
| $1e^{-56}$ | 0.6666722860337118 | 42            | 0.6666660308837891 | 19              |

Tabla 5: Resultados obtenidos para la función 8.

| Tolerancia | Aitken             | Iter. Aitken | Steffensen         | Iter. Steffensen |
|------------|--------------------|--------------|--------------------|------------------|
| $1e^{-8}$  | 0.6663099243644657 | 18           | 0.6662357449802203 | 27               |
| $1e^{-16}$ | 0.6663099243644657 | 18           | 0.6662357449802203 | 27               |
| $1e^{-32}$ | 0.6663099243644657 | 18           | 0.6662357449802203 | 27               |
| $1e^{-56}$ | 0.6663099243644657 | 18           | 0.6662357449802203 | 27               |

Tabla 6: Resultados obtenidos para la función 8.

Como se puede observar en la tabla 5, el método de la secante en la primera tolerancia contiene mayores iteraciones que las otras, sin embargo, todos los resultados contienen el mismo número de significancia. Por otro lado, todas las tolerancias en el método de la bisección contienen el mismo número de iteraciones al igual que su significancia en el resultado. En este caso, la significancia es menor en el resultado de la bisección versus al método secante.

Por otro lado, se puede observar en la tabla 6 que el método de Steffensen tiene una mayor precisión que el método de Aitken. Sin embargo, el método de Steffensen es el que más iteraciones tiene con un valor de 27. Mientras que Aitken logra llegar al resultado con 18 iteraciones. Al igual que la anterior función, estos métodos logran llegar al resultado gracias a las condiciones puestas en el código. Ya que, después de estas iteraciones, ambos métodos llegan a una división por cero.

$$f(x) = x^3 - 2x - 5 \quad (9)$$

Para la ecuación 9, se obtuvieron los siguientes resultados:



| Tolerancia | Secante            | Iter. Secante | Bisección         | Iter. Bisección |
|------------|--------------------|---------------|-------------------|-----------------|
| $1e^{-8}$  | 2.094551478163650  | 8             | 2.094551481306550 | 29              |
| $1e^{-16}$ | 2.0945514815423265 | 10            | 2.094551481542327 | 55              |
| $1e^{-32}$ | 2.0945514815423265 | 10            | 2.094551481542327 | 55              |
| $1e^{-56}$ | 2.0945514815423265 | 10            | 2.094551481542327 | 55              |

Tabla 7: Resultados obtenidos para la función 9.

| Tolerancia | Aitken           | Iter. Aitken | Steffensen       | Iter. Steffensen |
|------------|------------------|--------------|------------------|------------------|
| $1e^{-8}$  | 2,09455148154232 | 309          | 2,09455148154232 | 2000000          |
| $1e^{-16}$ | 2,09455148154232 | 2000000      | 2,09455148154232 | 2000000          |
| $1e^{-32}$ | 2,09455148154232 | 2000000      | 2,09455148154232 | 2000000          |
| $1e^{-56}$ | 2,09455148154232 | 2000000      | 2,09455148154232 | 2000000          |

Tabla 8: Resultados obtenidos para la función 9.

Como podemos observar en la tabla 7, la primera tolerancia correspondiente a  $1e^{-8}$ , ambos métodos contienen un número de iteraciones mínimo con respecto a las otras. Asimismo, en el caso de la secante se puede observar que realiza 8 iteraciones con un resultado significancia menor a la de bisección que contiene 29 iteraciones. Por otra parte, las demás tolerancias contienen el mismo número de iteraciones, en el caso de la secante 10 y en el de bisección 55, la cual sus resultados, en cuanto a iteraciones, resultan distintas con un número diferente de significancia, siendo el método de la secante el que mayor significancia tiene.

Por otro lado, se puede observar en la tabla 8 que el método de Aitken en su primera iteración logra llegar a un resultado con 309 iteraciones. Sin embargo, en el resto de tolerancias y en el método de Steffensen, su resultado es similar a lo explicado en las tablas ya descritas.

$$f(x) = \left(\frac{667.38}{x}\right) * (1 - e^{-146843x}) - 40 \quad (10)$$

Para la ecuación 10, se obtuvieron los siguientes resultados:

| Tolerancia | Secante            | Iter. Secante | Bisección          | Iter. Bisección |
|------------|--------------------|---------------|--------------------|-----------------|
| $1e^{-8}$  | 14.78020859368090  | 8             | 14.780208585085300 | 33              |
| $1e^{-16}$ | 14.780208593679400 | 9             | 14.780208593679400 | 53              |
| $1e^{-32}$ | 14.780208593679400 | 9             | 14.780208593679400 | 53              |
| $1e^{-56}$ | 14.780208593679400 | 9             | 14.780208593679400 | 53              |

Tabla 9: Resultados obtenidos para la función 10.

Como podemos observar en la tabla 9, la primera tolerancia correspondiente a  $10e^{-8}$ , ambos métodos contienen un número de iteraciones mínimo con respecto a las otras. Asimismo, en el caso de la secante se puede observar que realiza 8 iteraciones con un resultado de significancia mayor al método de bisección, el cual contiene 33 iteraciones. Por otra parte, las demás tolerancias contienen el mismo número de iteraciones (secante 9, bisección 53), los resultados de las iteraciones entre ambos procesos resultan con un mismo número de significancia. En cuanto al método de Aitken y Steffensen, estos no logran llegar a una raíz por el tipo de función.

$$f(t) = e * \text{sen}^3(t) - 1 - 4 * \text{sen}(t) * \text{cos}(t) \quad (11)$$

Para la ecuación 11 se obtuvieron los siguientes resultados:

| Tolerancia | Secante           | Iter. Secante | Bisección        | Iter. Bisección |
|------------|-------------------|---------------|------------------|-----------------|
| $1e^{-8}$  | 6,0028385908143   | 5             | 5,51754284052537 | 30              |
| $1e^{-16}$ | 6,002838590814260 | 7             | 5,17542840528378 | 54              |
| $1e^{-32}$ | 6,002838590814260 | 7             | 5,17542840528378 | 54              |
| $1e^{-56}$ | 6,002838590814260 | 7             | 5,17542840528378 | 54              |

Tabla 10: Resultados obtenidos para la función 11.

Para el desarrollo de la función 11, se igualaron ambas funciones a cero, esto debido a que cuando son igualadas a cero, el punto obtenido es donde ambas funciones colisionan y, por ende, se obtiene la raíz de las funciones. En cuanto al método de Aitken y Steffensen, estos no logran llegar a una raíz por el tipo de función.

Como podemos observar en la tabla 10 la primera tolerancia correspondiente a  $10e^{-8}$ , ambos métodos contienen un número de iteraciones mínimo con respecto a las otras. Asimismo, se logra observar que las otras tres tolerancias, ambos métodos presentan una misma cantidad de iteraciones (siete en el método de la secante y 54 en el método de la bisección); además se logra evidenciar que la raíz es diferente en el método de la secante, ya que cuando evaluamos el punto  $x_0$  y  $x_1$  en la función, esta puede desbordarse del rango y empezaría a operar con valores fuera de este, por lo que este hallaría una raíz fuera de los límites iniciales, caso contrario en el método de la bisección en el cual es imposible que suceda este fenómeno.

## 2.6. Gráficas

### 2.6.1. Gráficas de Funciones

A continuación, se presentan las gráficas de cada una de las funciones propuestas anteriormente. Cabe resaltar que cuando una función tiene una relación par, impar o periódica con respecto a sus valores, este método no tiene afectaciones al momento de encontrar raíces sin importar el límite inferior y superior que es dado de parámetro. Del mismo modo, solo es posible encontrar una raíz cuando se usa el algoritmo de la secante, ya que esta se limita a encontrar solo una relación cuando la función tiende a cero.

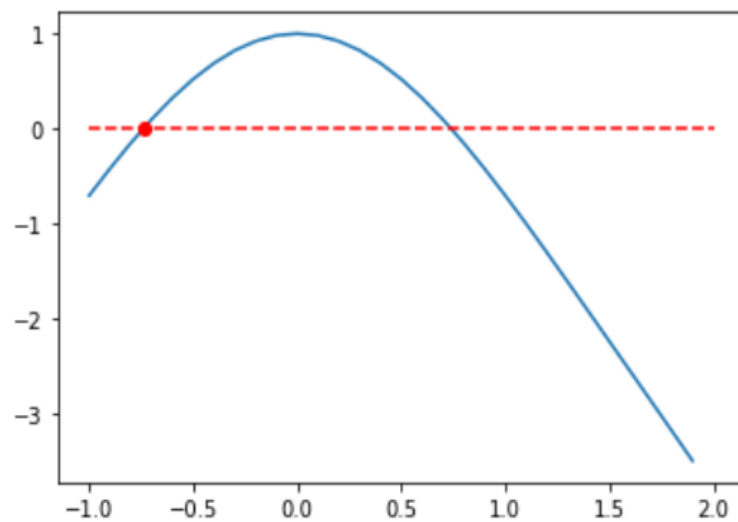


Figura 3: Gráfica de la función  $\cos^2(x) - x^2$

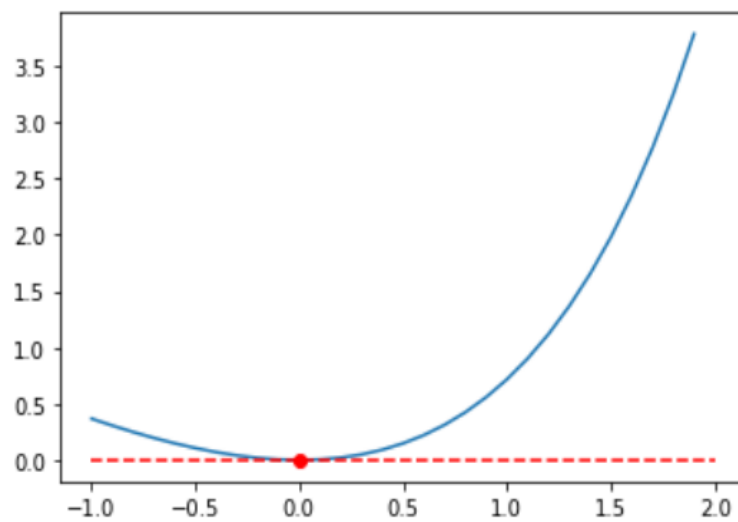


Figura 4: Gráfica de la función  $f(x) = e^x - x - x^2$

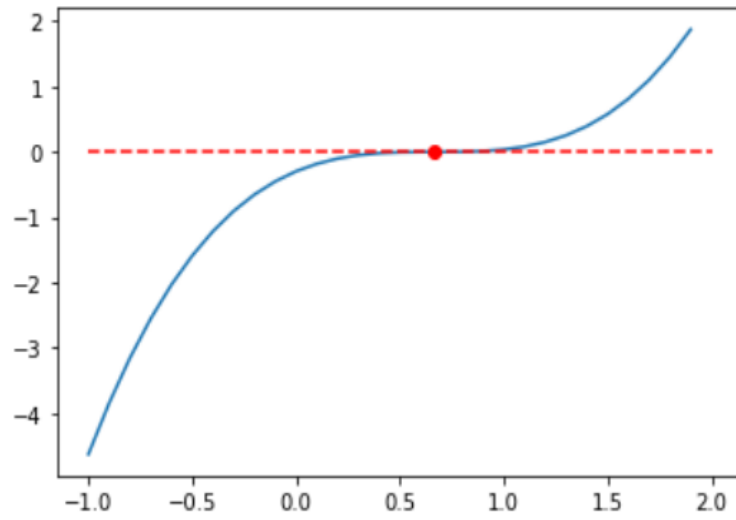


Figura 5: Gráfica de la función  $f(x) = x^3 - 2x^2 + \frac{4x}{3} - \frac{8}{27}$

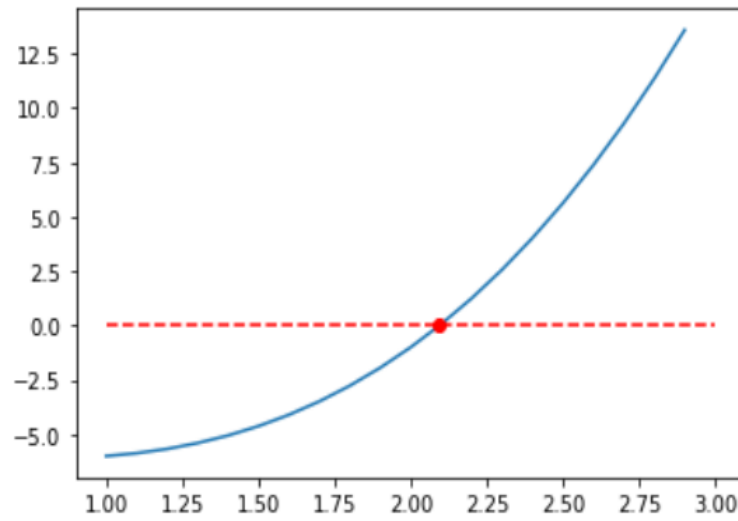


Figura 6: Grafica de la función  $f(x) = x^3 - 2x - 5$

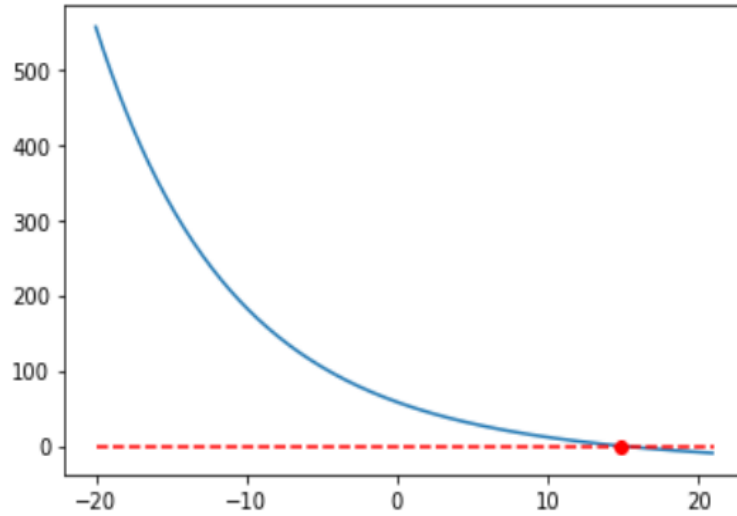


Figura 7: Gráfica de la función  $f(x) = ((\frac{667.38}{x}) * (1 - e^{-146843x})) - 40$

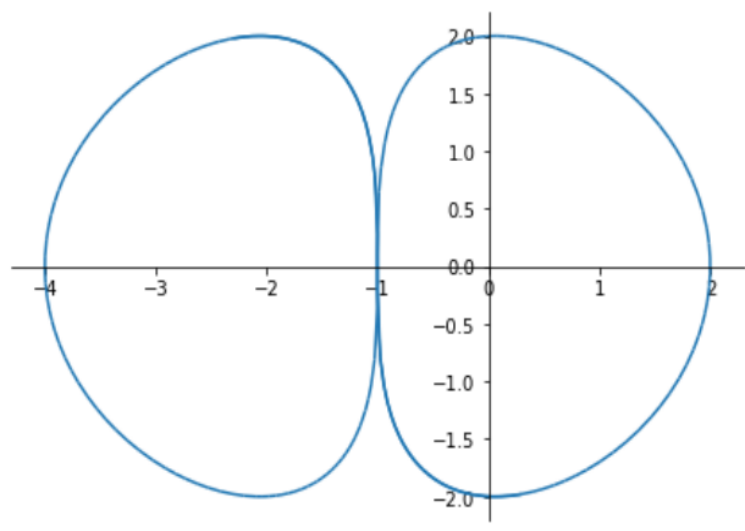


Figura 8: Gráfica de la función  $f(t) = e * \text{sen}^3(t) - 1 - 4 * \text{sen}(t) * \text{cos}(t)$

### 2.6.2. Gráficas Relación Tolerancia Vs Número de iteraciones

A continuación, se presentan las gráficas que relacionan la tolerancia con el número de iteraciones que se emplearon para desarrollar cada una de las funciones propuestas con el método de la secante.

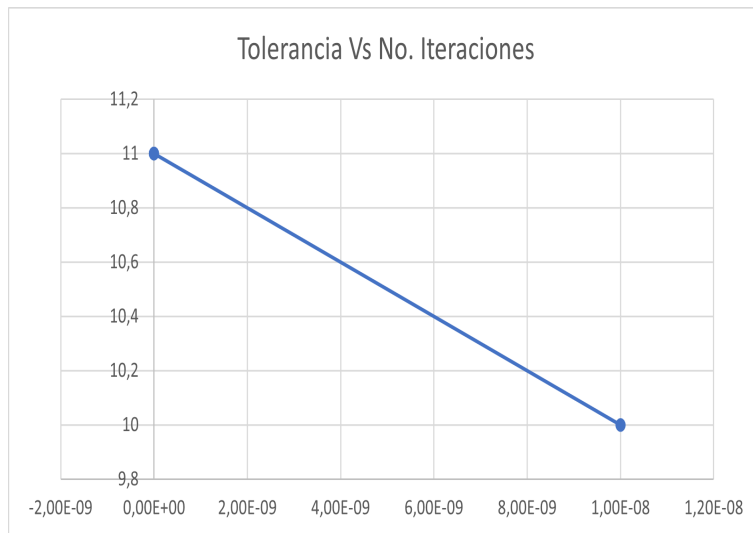


Figura 9: Gráfica de la función  $\cos^2(x) - x^2$

Como se puede observar en la gráfica, la primera tolerancia  $1e^{-8}$  requiere 10 iteraciones para llegar a un resultado, mientras que el resto de tolerancias, requieren de una iteración más para poder llegar a un resultado.

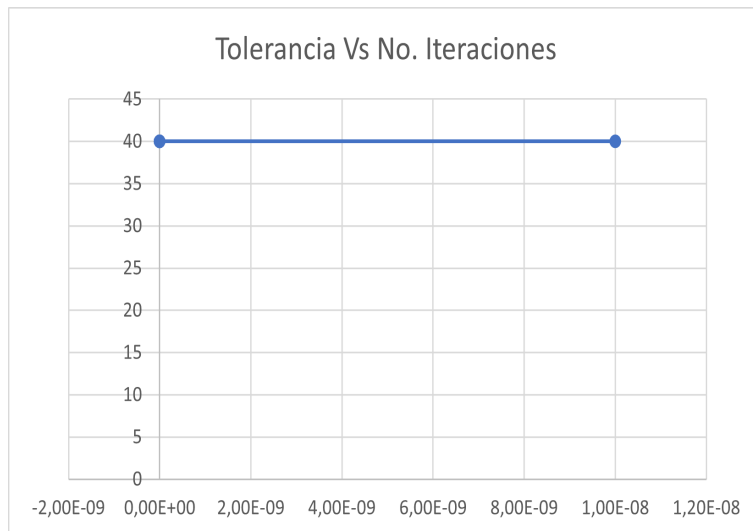


Figura 10: Gráfica de la función  $f(x) = e^x - x - x^2$

Como se puede observar en la gráfica, todas las tolerancias requieren la misma cantidad de iteraciones, que en este caso son 40 iteraciones.

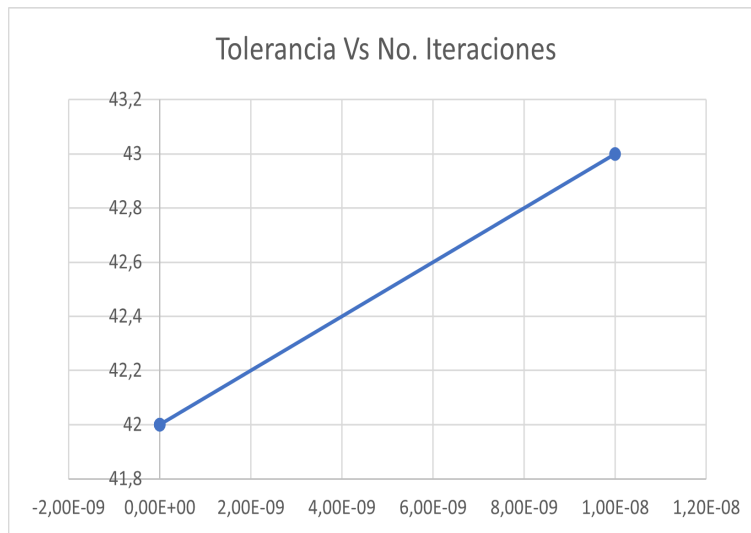


Figura 11: Gráfica de la función  $f(x) = x^3 - 2x^2 + \frac{4x}{3} - \frac{8}{27}$

Como se puede observar en la gráfica, la primera tolerancia  $1e^{-8}$  requiere de una iteración más (43 iteraciones) que el resto de tolerancias, las cuales emplean 42 iteraciones para obtener la raíz.

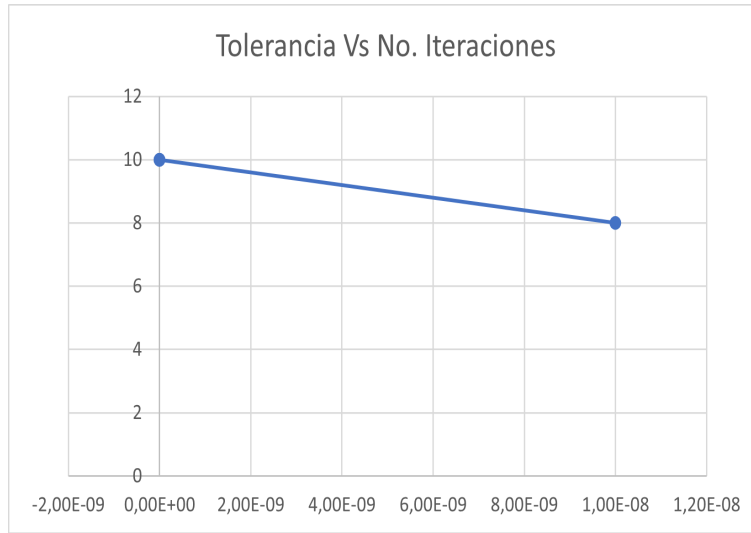


Figura 12: Gráfica de la función  $f(x) = x^3 - 2x - 5$

Como se puede observar en la gráfica, la primera tolerancia  $1e^{-8}$  requiere dos iteraciones menos (8 iteraciones) que el resto de tolerancias, las cuales emplean 10 iteraciones para obtener la raíz.

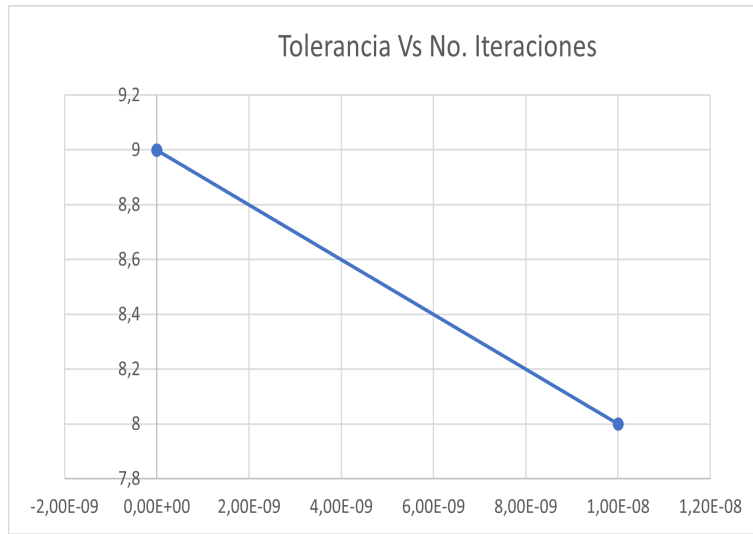


Figura 13: Gráfica de la función  $f(x) = ((\frac{667.38}{x}) * (1 - e^{-146843x})) - 40$

Como se puede observar en la gráfica, la primera tolerancia  $1e^{-8}$  requiere una iteración menos (8 iteraciones) que el resto de tolerancias, las cuales emplean 9 iteraciones para obtener la raíz.

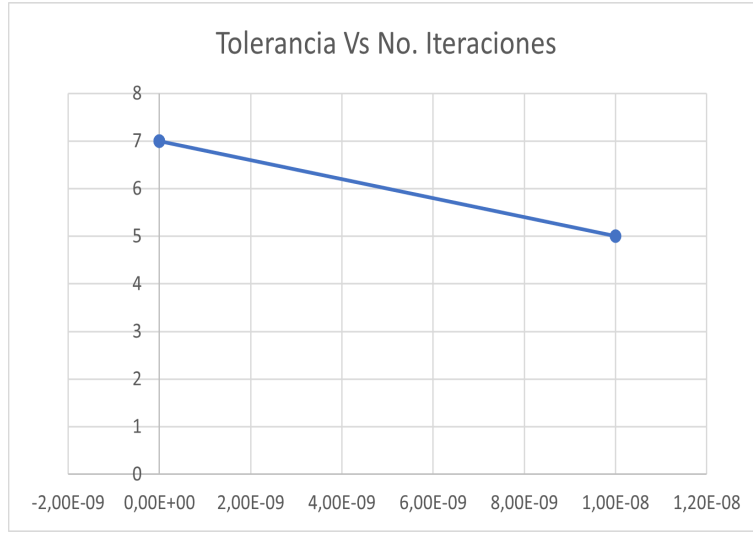


Figura 14: Gráfica de la función  $f(t) = e * \text{sen}^3(t) - 1 - 4 * \text{sen}(t) * \text{cos}(t)$

Como se puede observar en la gráfica, la primera tolerancia  $1e^{-8}$  requiere dos iteraciones menos (5 iteraciones) que el resto de tolerancias, las cuales emplean 7 iteraciones para obtener la raíz.

### 2.6.3. Gráficas de errores

A continuación se presentan los errores relativos correspondientes a cada una de las funciones en forma de gráfica.



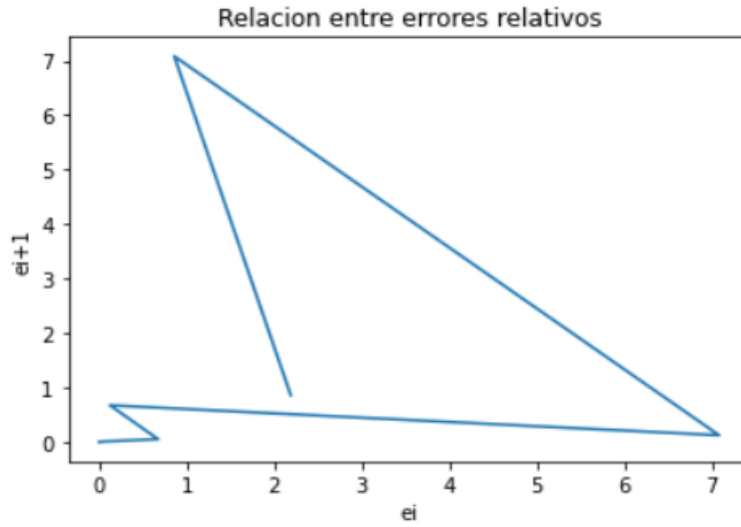


Figura 15: Gráfica de la función  $\cos^2(x) - x^2$

Como se logra observar en la gráfica, el error al inicio es un error disperso, con valores cercanos a uno y con picos de hasta siete, pero es después de varias iteraciones que el error empieza a tender a cero.

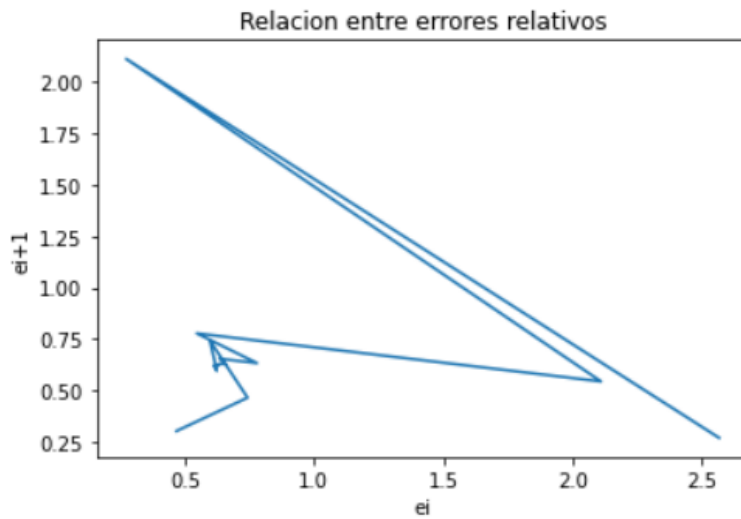


Figura 16: Gráfica de la función  $f(x) = e^x - x - x^2$

Como se observa en la gráfica, el comportamiento del error empieza a ser disperso siguiendo un orden lineal ascendente y descendente hasta luego mantenerse en un punto fijo hasta minimizar su valor y acercarse a cero.

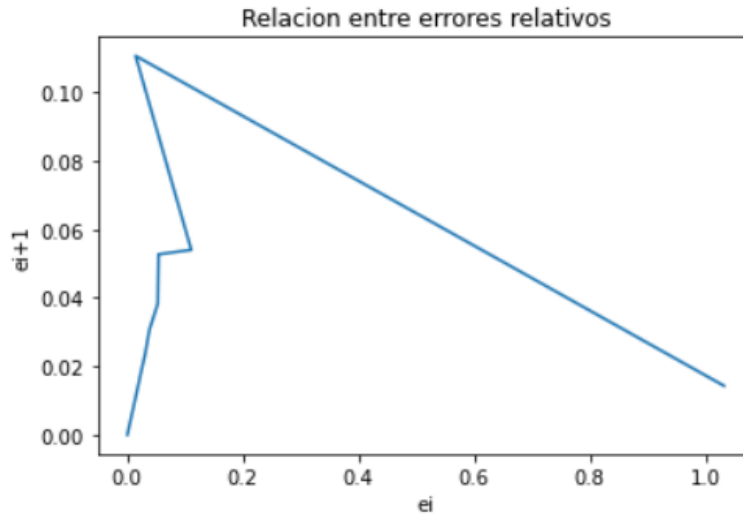


Figura 17: Gráfica de la función  $f(x) = x^3 - 2x^2 + \frac{4x}{3} - \frac{8}{27}$

Como se ve reflejado en la gráfica, con un valor cercano a uno la tendencia de la gráfica empieza a aumentar mientras su valor va disminuyendo teniendo una relación inversa, esto hasta llegar a un punto que desciende en picada para obtener el valor cero.

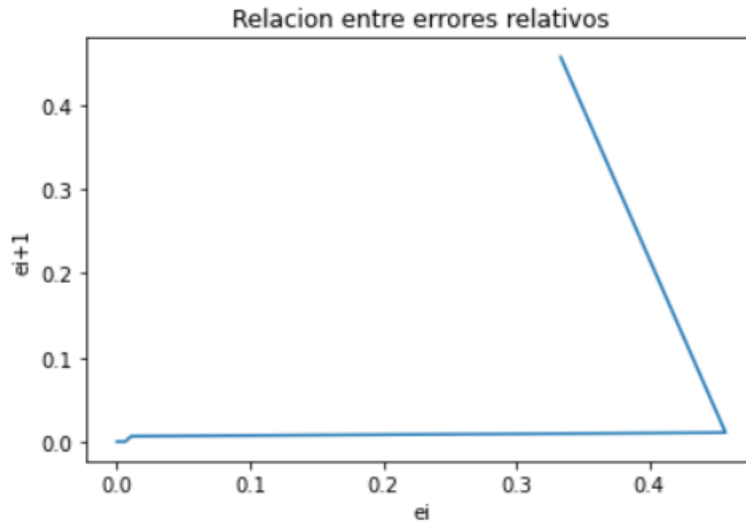


Figura 18: Gráfica de la función  $f(x) = x^3 - 2x - 5$

Como se puede observar en la gráfica, no contiene una variación entre sus valores manteniendo un error constante, a excepción del punto cercano a 0.4 que obtiene una dispersión con respecto a los otros valores.

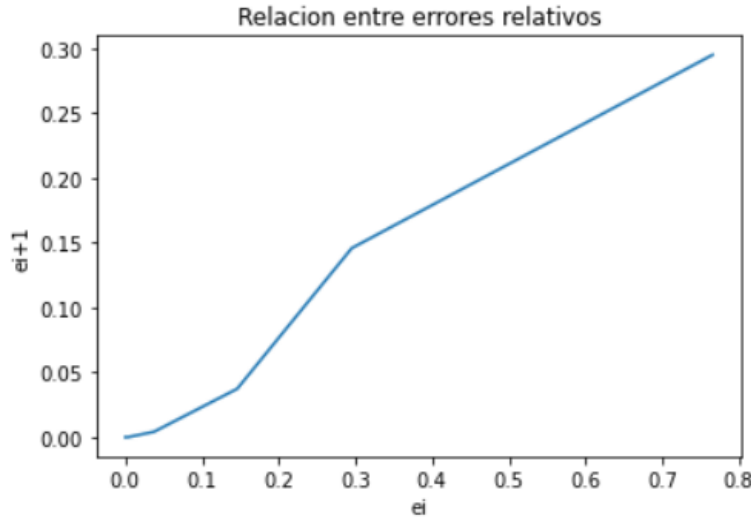


Figura 19: Gráfica de la función  $f(x) = ((\frac{667.38}{x}) * (1 - e^{-146843x})) - 40$

Como se puede observar en la gráfica, el error desciende de una forma lineal y continua, empezando por un punto cercano a 0.30 y terminando finalmente en cero.

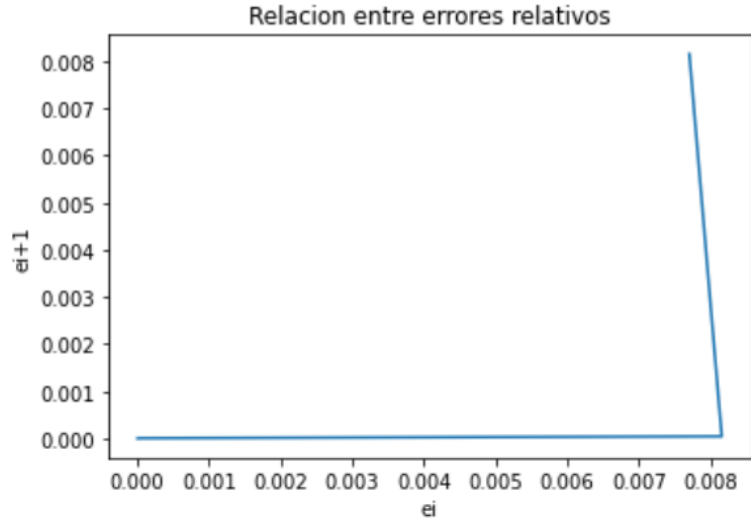


Figura 20: Gráfica de la función  $f(t) = e * \text{sen}^3(t) - 1 - 4 * \text{sen}(t) * \text{cos}(t)$

Como se observa en la gráfica, el comportamiento del error empieza a ser disperso siguiendo un orden lineal ascendente y descendente hasta luego mantenerse en un punto fijo hasta minimizar su valor y acercarse a cero.

Además de lo ya descrito anteriormente, es necesario mencionar que la convergencia del método de la secante es super lineal, esto lo podemos notar en la figura 21, en la cual se ve de manera clara como el error disminuye linealmente mientras que en las demás graficas esta convergencia no se ve de forma clara. Es por esto que, a continuación, se presenta una gráfica de los errores de la función  $f(x) = e^x - x - x^2$ , en la cual se puede observar cómo esta converge linealmente; esta

fue ensayada en un rango de -1 a 1 y realizó un total de 42 iteraciones. En conclusión, podemos considerar que contiene este orden de convergencia ya que su resultado es igual al número áureo.

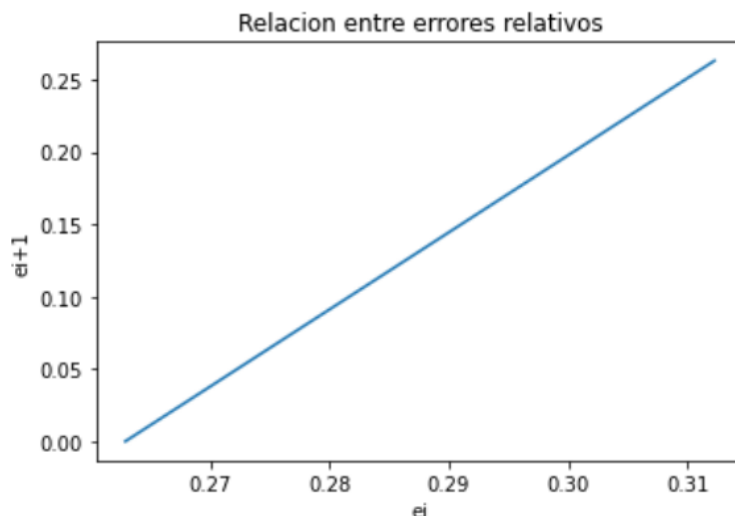


Figura 21: Gráfica de la función  $f(x) = e^x - x - x^2$

### 3. Conclusiones

- Se puede concluir que tanto el método de la secante como el método de bisección logran llegar a la raíz de una forma rápida, pero en funciones complejas, sin embargo el método de la secante es mucho más eficaz que el método de la bisección.
- La precisión de un valor es algo fundamental para cuando se necesita obtener una clara razón de cambio entre valores, por ello para conseguir la raíz exacta se aproxima al valor más preciso que el programa puede hallar.
- La función dada como parámetro obligatoriamente debe ser continua en el intervalo establecido ya que al realizar las rectas secantes que pasan entre los puntos debe existir un valor real para lograr la iteración correcta.
- La gráfica de errores es tan dispersa, debido a que, como se mencionó en la explicación gráfica del método de la secante, se parte de un límite inferior y superior dónde al restar estos límites, el valor dado es muy lejano de la raíz, y es hasta cierto punto del proceso iterativo, cuando los valores empiezan a tender cada vez más hacia la raíz.
- Cuando la tolerancia es un valor mínimo, el resultado obtenido suele tener una diferencia significativa con respecto a las demás iteraciones siendo la menos aproximada a la raíz que se desea encontrar.
- Como se pudo observar en las tablas de resultados, llega un punto en que las iteraciones son constantes después de una tolerancia determinada, esto es debido a que, por la épsilon de la máquina, el algoritmo es incapaz de llegar a un valor más aproximado al resultado real, es por ello que cuando se alcanzan unas iteraciones constantes significa que a pesar del cambio

de tolerancia no se puede llegar a un valor más exacto o en dado caso ya se llegó a el valor real.

- El método de bisección en algunos casos es posible que se desborde, es decir, cuando la raíz de la función es muy cercana o es cero, estas pueden cambiar de signo muy fácilmente, por ello el rango de  $a$  y  $b$  podría cambiar y dejar por fuera al valor aproximado de la raíz, lo cual generaría el retorno de una raíz igual a alguno de los dos limites ( $a$  o  $b$ ), generando así información incorrecta. Este problema es uno de los inconvenientes con el método de la bisección, por eso cabe mencionar que en la tabla de resultados en la función  $e^x - x - x^2$  se usaron límites diferentes entre el método de la secante y bisección con el fin de comparar el número de iteraciones (rendimiento) de cada método.
- Cada raíz es el valor más aproximado logrado mediante una precisión doble extendida, pero puede ser mínimamente diferente al valor real por cuestiones de la  $\epsilon$  de la máquina.
- La convergencia del método de la secante no asegura si la primera aproximación a la raíz es lo suficientemente cercana a ella, ni tampoco se asegura cuando la raíz es múltiple. Esto no quiere decir que no se pueda usar el método en esos casos, significa que al usarlo entramos en un riesgo de que este no converja y no podamos hallar la raíz.

## Referencias

- [1] Morante, F. FdeT: METODOS NUMERICOS 4/4: METODO DE LA SECANTE, 2015. Recuperado de: [https://www.youtube.com/watch?v=gvXptKRHXP&ab\\_channel=canalfdet](https://www.youtube.com/watch?v=gvXptKRHXP&ab_channel=canalfdet) [1].
- [2] Madhav, M. Secant Method of Numerical analysis, 2020. Recuperado de: <https://www.geeksforgeeks.org/secant-method-of-numerical-analysis/> [6].
- [3] N.N. THE SECANT METHOD, S.F. Recuperado de: <http://homepage.math.uiowa.edu/~whan/3800.d/S3-3.pdf> [5].
- [4] Marta. ¿Para que sirve el Teorema de Bolzano?, 2021. Recuperado de: <https://www.superprof.es/apuntes/escolar/matematicas/calculo/derivadas/teorema-de-bolzano.html> [2].
- [5] Russo, R. Método de la Secante, S.F. Recuperado de: [http://www3.fi.mdp.edu.ar/metodos/apuntes/secante\\_rodrigo.pdf](http://www3.fi.mdp.edu.ar/metodos/apuntes/secante_rodrigo.pdf) [3].