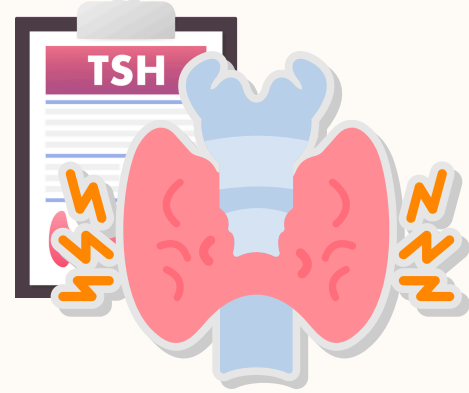


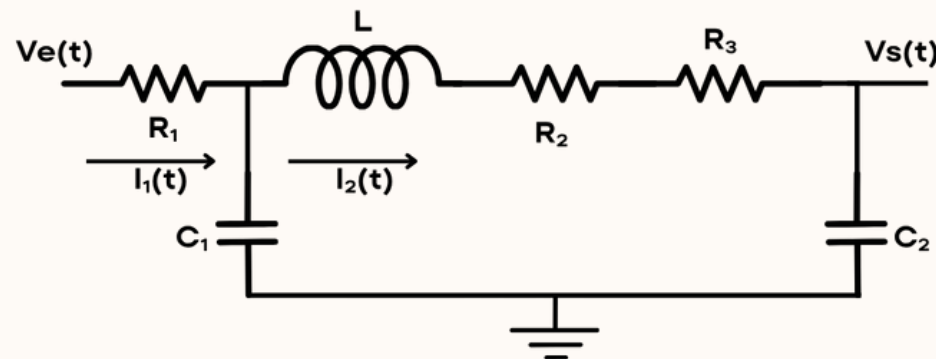
# SISTEMA ENDOCRINO: HIPOTIROIDISMO



## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y ENFERMEDAD

El eje hipotálamo-hipófiso-tiroideo se modela como un sistema dinámico retroalimentado, en el que cada etapa fisiológica se representa mediante componentes eléctricos análogos. El hipotálamo libera TRH, modelada por  $R_1$  y  $C_1$ ; la hipófisis responde con TSH, representada por un inductor  $L$ ; y la tiroides produce T3/T4, modelada mediante  $R_2$ ,  $R_3$  y  $C_2$ . En condiciones normales, este sistema mantiene el equilibrio hormonal. En el hipotiroidismo subclínico, la hipófisis libera niveles elevados de TSH, pero la tiroides no responde adecuadamente, lo que mantiene los niveles de T3/T4 dentro de rangos bajos o normales, pero insuficientes. Esta condición se representa en el modelo con un aumento en  $R_3$ , que refleja mayor resistencia a la estimulación, y en  $C_2$ , que representa una mayor inercia o lentitud en la acumulación y liberación hormonal. Así, el modelo permite observar la disfunción sin ruptura total del eje.

## CIRCUITO



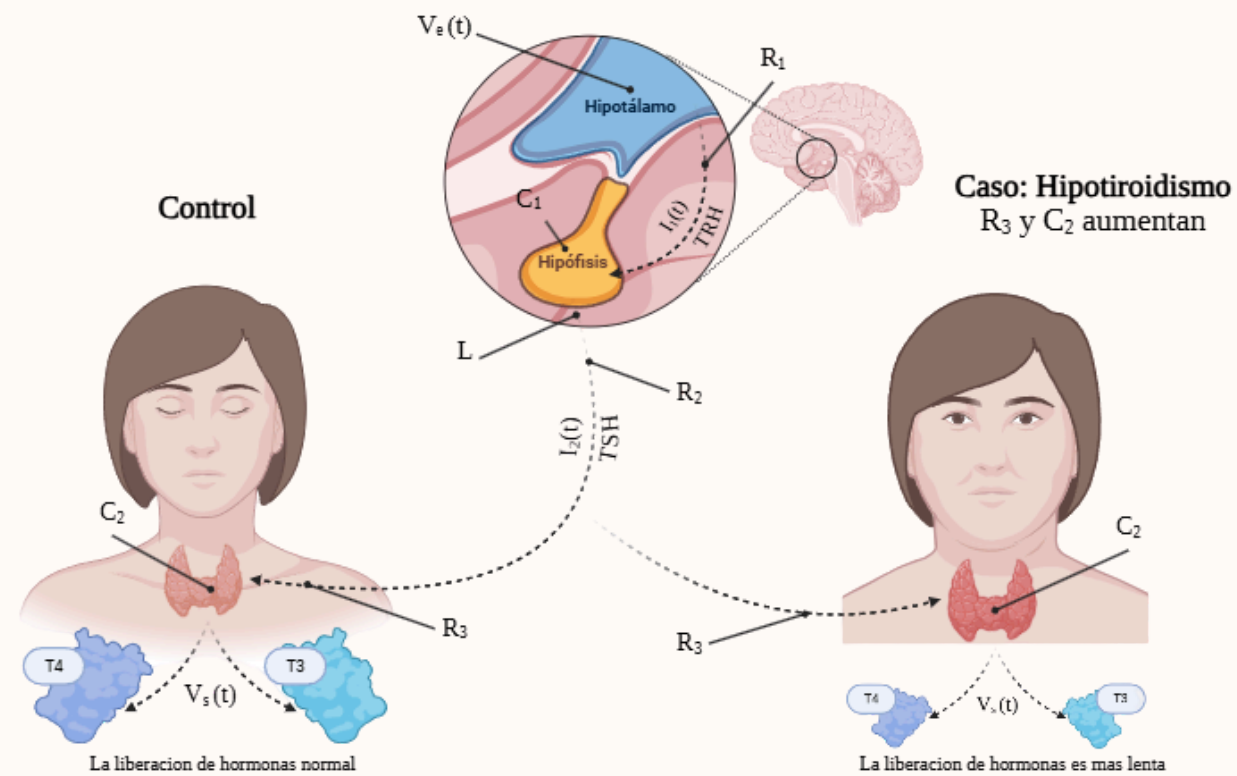
La entrada es una señal senoidal definida como:

$$V_e(t) = \sin\left(\frac{\pi}{2} \times t\right)$$

Esta señal representa un estímulo hormonal cíclico o pulsátil, que simula una señal fisiológica repetitiva con una frecuencia de 250 mHz.

Componente	Control	Caso	Etapa fisiológica	Representación
$R_1$	33K $\Omega$	33K $\Omega$	Hipotálamo	Retardo en liberación de TRH
$R_2$	33K $\Omega$	33K $\Omega$	Transporte hormonal	Retardo entre hipófisis y tiroides
$R_3$	10K $\Omega$	33K $\Omega$	Tiroides	Resistencia a la respuesta hormonal
$L$	10mH	10mH	Hipófisis	Inercia en liberación de TSH
$C_1$	10 $\mu$ F	10 $\mu$ F	Hipotálamo	Acumulación de TRH
$C_2$	1 $\mu$ F	10 $\mu$ F	Tiroides	Capacidad de liberación hormonal

## DIAGRAMA FISIOLÓGICO



## ECUACIONES INTEGRO-DIFERENCIALES

$$V_s = \frac{1}{C_2} \int [i_2(t)] dt$$

$$i_1(t) = \frac{V_e(t) - \frac{1}{C_1} \int [i_1(t) - i_2(t)] dt}{R_1}$$

$$i_2(s) = \frac{\frac{1}{C_1} \int [i_1(t) - i_2(t)] dt - L_1 \frac{di_2(t)}{dt} - \frac{1}{C_2} \int [i_2(t)] dt}{(R_2 + R_3)}$$

### Función de transferencia

$$\frac{V_s(s)}{V_e(s)} = \frac{1}{s^3(C_1C_2L_1R_1) + s^2(C_1C_2R_1R_3 + C_2R_1R_2 + C_2L_1) + s(C_1R_1 + C_2R_2 + C_2R_1 + C_2R_3) + 1}$$

### Error en estado estacionario

$$\lim_{s \rightarrow 0} \left[ 1 - \frac{V_s(s)}{V_e(s)} \right] = [1 - 1] = 0V$$

## ESTABILIDAD DEL SISTEMA EN LAZO ABIERTO

### Control

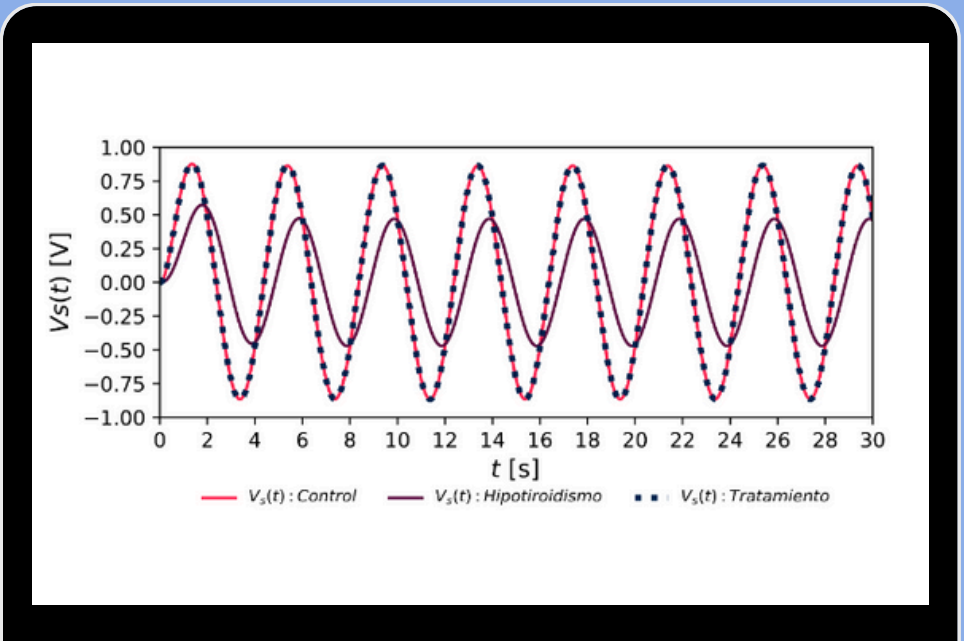
$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -2.7199 \\ \lambda_2 &= -26.8842 \\ \lambda_3 &= -76269.89 \end{aligned}$$

### Caso

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -0.887 \\ \lambda_2 &= -5.173 \\ \lambda_3 &= -1.178 \times 10^5 \end{aligned}$$

El sistema es estable con una respuesta **Sobreamortiguada**

## SIMULACIÓN: CASO, CONTROL Y TRATAMIENTO



El eje hipotálamo-hipófisis-tiroides se modeló como un circuito eléctrico. El hipotiroidismo subclínico se simuló aumentando la resistencia y capacitancia de la tiroides, reflejando su respuesta lenta. Un controlador PID se implementó para corregir la salida hormonal y restaurar el equilibrio del sistema.

### CONTROLADOR PID: GANANCIAS

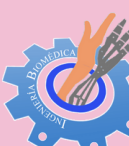
<b>kP</b>	913.4762	<b>Settling time</b>	4.37 seg
<b>kI</b>	3145.0167	<b>Overshoot</b>	1.74%
<b>kD</b>	40.9623	<b>Peak</b>	1.02
<b>Cr</b>	1 $\mu$ F		

## CONCLUSIONES

El modelado del eje hipotálamo-hipófisis-tiroides mediante un circuito eléctrico análogo permite representar su dinámica hormonal. En el hipotiroidismo subclínico, se simula una respuesta tiroidea más lenta mediante el aumento del resistor y capacitor asociados a la glándula tiroides. Para compensar esta alteración, se incorporó un controlador PID, que mejora la respuesta del sistema y permite alcanzar niveles hormonales adecuados, simulando un control más eficiente.



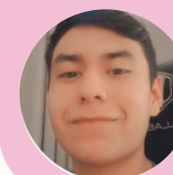
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TIJUANA



INGENIERÍA BIOMÉDICA

Dr. Paul Antonio Valle Trujillo  
Ingeniería Biomédica

**Modelado de Sistemas Fisiológicos**



Ramírez Díaz Cesar  
Andres  
21212173



Damian Arroyo Perla  
Guadalupe  
21212150

