

Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación
Curso de Posgrado “Redes Neuronales”
Docentes: Dr. Francisco Tamarit, Dr. Juan Ignacio Perotti
Alumna: María Virginia Romero Messein
Trabajo Práctico N° 2

Este informe tiene el objetivo de reproducir las gráficas respectivas a los comportamientos neuronales observados en la figura 2 del artículo “Simple Model of Spiking Neurons” de Eugene M. Izhikevich.

El modelo de Izhikevich está basado en el modelo de Hodgkin y Huxley. Este último se expuso en 1952 y se caracteriza por proponer un modelo matemático para explicar el comportamiento de la membrana celular descrita en forma de circuito eléctrico. El modelo está compuesto por cuatro ecuaciones diferenciales no lineales que describen la generación y la propagación del potencial de acción. En el año 2003, Izhikevich propone reducir el modelo de Hodgkin-Huxley a dos ecuaciones diferenciales basándose en la teoría de la bifurcación y la reducción de la forma normal. Su objetivo es reproducir el comportamiento de picos y estallidos de neuronas corticales a través de un modelo más simplificado que no suponga una carga excesiva para el ordenador.

Las dos ecuaciones en cuestión tienen la siguiente forma:

$$v' = 0.04v^2 + 5v + 140 - u + I$$
$$u' = a(bv - u)$$

Con el restablecimiento auxiliar luego del pico:

$$\text{If } v \geq 30 \text{ mV, entonces } v \leftarrow c$$
$$u \leftarrow u + d$$

Por un lado, se considera que v y u son variables adimensionales, y por el otro, que a, b, c y d son parámetros adimensionales.

Además, $0 = d = dt$, donde t es el tiempo.
→ v es la variable que representa el potencial de membrana de la neurona.

→ u representa a la variable de recuperación de la membrana.

→ I_e es la variable que representa la corriente de entrada.

Además, los cuatro parámetros dependen del tiempo t :

→ a representa la escala de tiempo de la variable de recuperación u . Mientras más bajo es el valor, más lenta es la recuperación. El valor típico es $a = 0.02$.

→ b representa la sensibilidad que la variable u tiene ante las fluctuaciones subumbrales del potencial de membrana v . El valor típico es $b = 0.2$.

→ c representa el valor de reinicio posterior al pico del potencial de membrana v . El valor típico es $c = 65 \text{ mV}$.

→ d describe el reinicio posterior al pico de la variable de recuperación u . El valor típico es $d = 2$.

A partir del cambio de los valores de los parámetros, el modelo brinda la posibilidad de obtener como resultado diferentes patrones de disparo. A continuación se muestra el ejemplo de algunos de ellos:

Las neuronas excitatorias corresponden a: RS (regular spiking), IB (intrinsically bursting) y CH (chattering). En la figura 1, se observa que tras una corriente continua, las neuronas RS disparan con un período corto entre picos y luego el período aumenta. Este comportamiento es llamado “adaptación de frecuencia de pico”. En la figura 2 se observa que las neuronas IB al comienzo disparan una ráfaga de picos y luego picos individuales repetitivos. En la ráfaga del comienzo se acumula la variable u y en ocasiones la dinámica de explosión de picos puede cambiar. En la figura 3 se observa que las neuronas CH pueden disparar ráfagas de picos estrechamente espaciados. La frecuencia entre ráfagas puede alcanzar los 40 Hz.

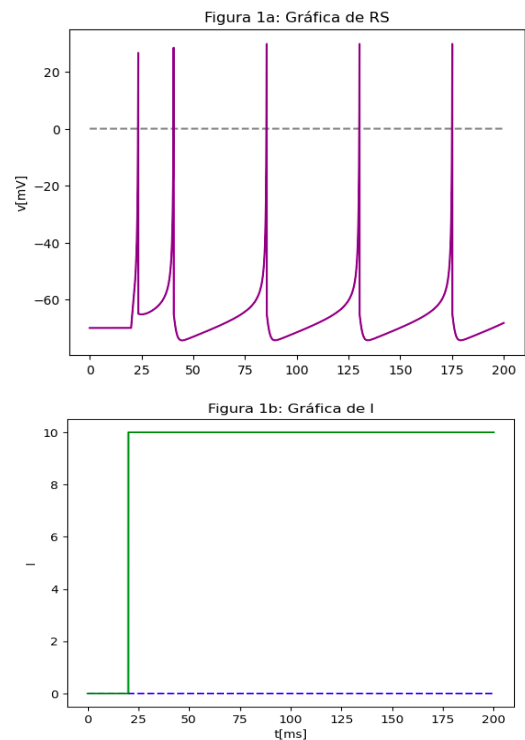


Figura 1:

Aquí $a = 0,02$, $b = 0,2$, $c = -65$, $d = 8$, $v_u = 30$, $v_0 = -63$

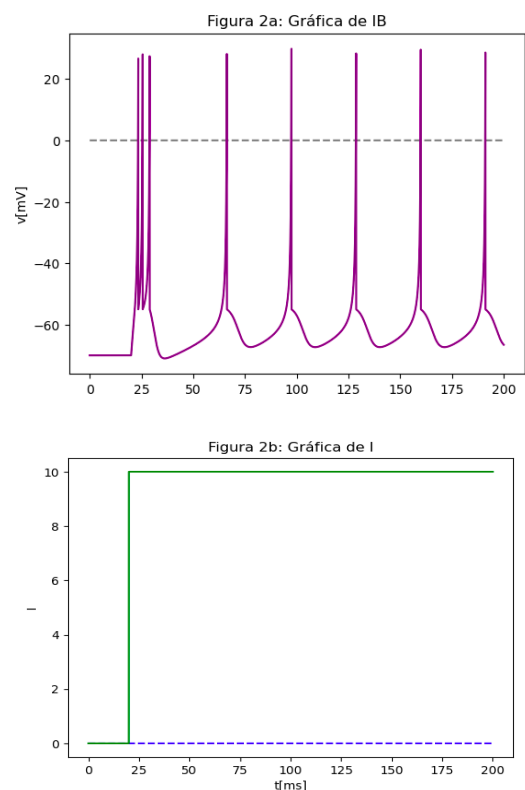


Figura 2: Aquí

$a = 0,02$, $b = 0,2$, $c = -55$, $d = 4$, $v_u = 30$, $v_0 = -63$

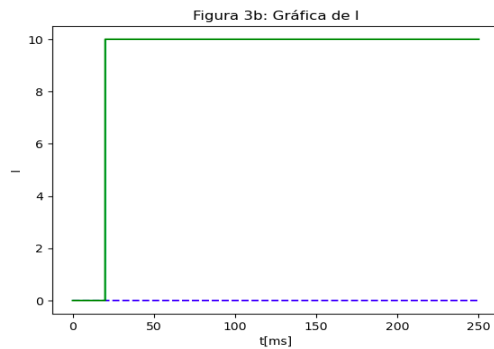
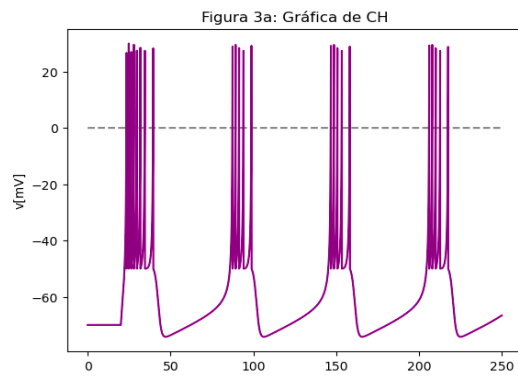


Figura 3: Aquí

$$a = 0,02, b = 0,2, c = -50, d = 2, v_u = 30, v_0 = -63$$

Por otra parte, en la figura 4 se observa que las neuronas inhibitorias FS (fast spiking) pueden disparar trenes periódicos de potenciales de acción sin desacelerar y con una frecuencia muy alta.

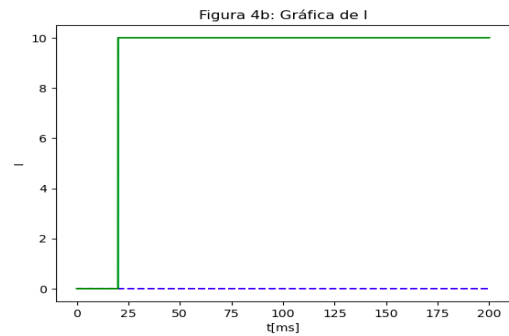
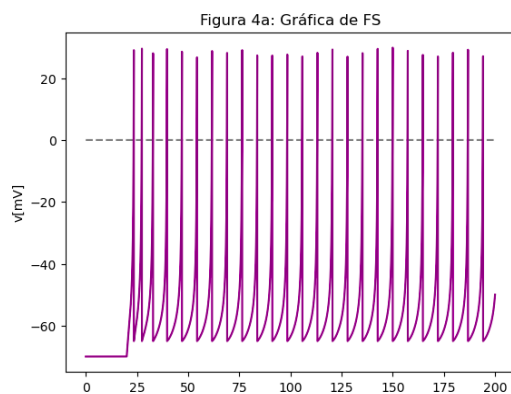


Figura 4: Aquí

$$a = 0,1, b = 0,2, c = -65, d = 2, v_u = 30, v_0 = -63$$

También, este modelo reproduce el comportamiento de las neuronas TC (thalamo-cortical), las cuales presentan dos formas de disparo que se pueden observar en las figuras 5 y 6.

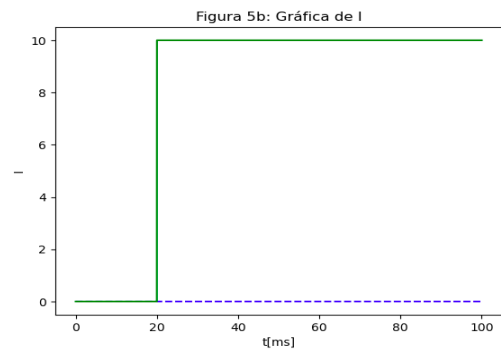
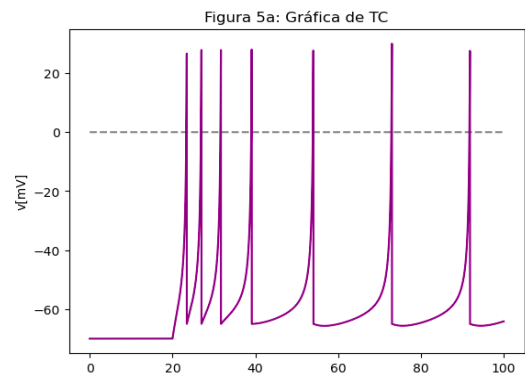


Figura 5 : Aquí

$$a = 0,02, b = 0,2, c = -65, d = 2, v_u = 30, v_0 = -63$$

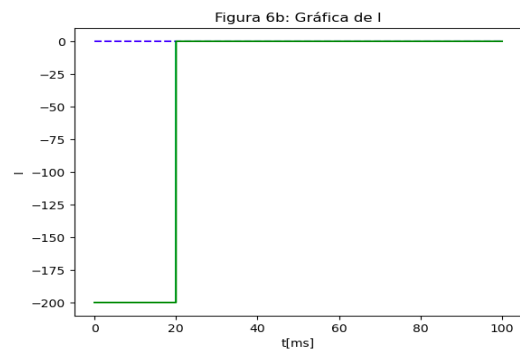
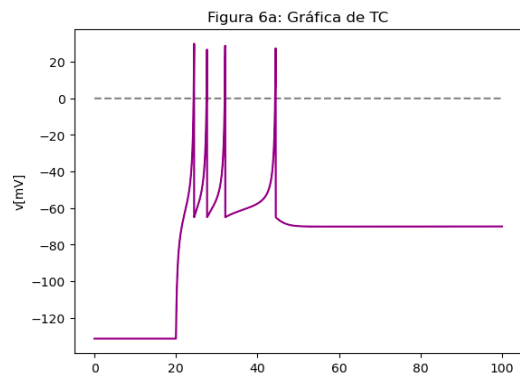


Figura 6: Aquí

$a = 0,02$, $b = 0,2$, $c = -65$, $d = 2$, $v_u = 30$, $v_0 = -63$

El modelo también, puede exponer otros tipos de dinámicas como la de RZ (resonator). En la figura 7 se observa que las neuronas RZ tienen oscilaciones subumbrales sostenidas

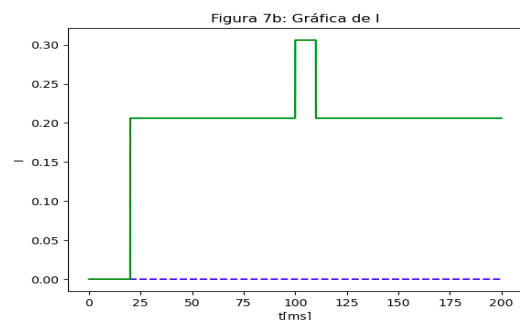
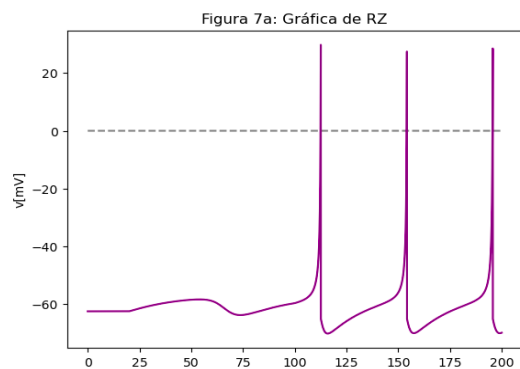


Figura 7: Aquí

$a = 0,01$, $b = 0,26$, $c = -65$, $d = 2$, $v_u = 30$, $v_0 = -63$

Por último, en la figura 8 se observa que las neuronas inhibitorias LTS (low-threshold spiking) pueden disparar los potenciales de acción de alta frecuencia, aunque con adaptación de la frecuencia de picos. Los umbrales de activación de estas neuronas son bajos.

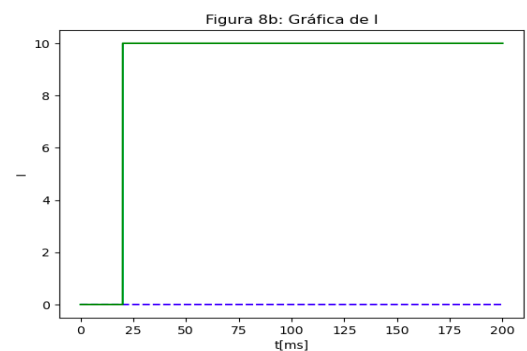
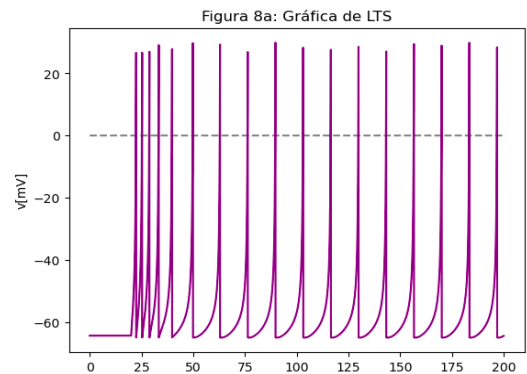


Figura 8: Aquí

$a = 0,02$, $b = 0,25$, $c = -65$, $d = 2$, $v_u = 30$, $v_0 = -63$

Bibliografía:

-Izhikevich, E. (6 de noviembre de 2003). Simple Model of Spiking Neurons. IEEE Transactions on neural networks. (14), p. 1569-1572.