

Parcial de Ingeniería Biomédica

Juan Villarruel
Hernán G. Corvalan

July 7, 2018

1 ¿Qué es un marcapasos?, ¿Cómo funciona?

Un marcapasos es un dispositivo electrónico con el objetivo de producir pulsos repetitivos de corriente para estimular el ventrículo produciendo su contracción.

Dependiendo de la duración del estímulo, será necesario una cierta intensidad de corriente para generar un potencial de acción en el musculo cardíaco y así generar la propagación del impulso que provocará la contracción de éste.

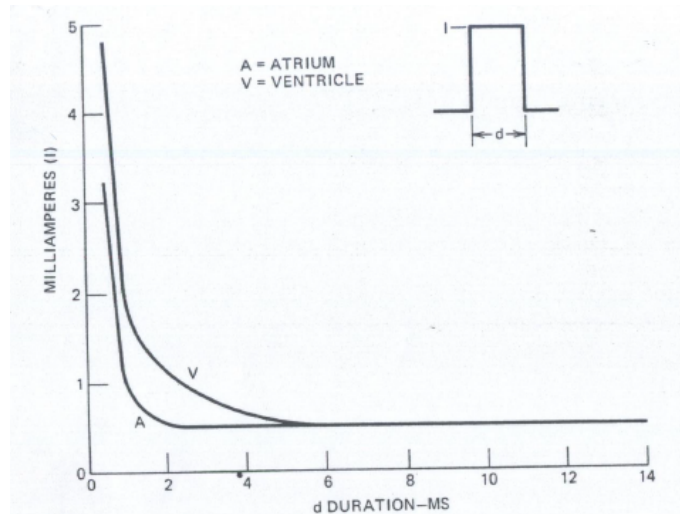


Figure 1: Curva fuerza corriente para un estímulo de onda cuadrada. En la figura, se observa la intensidad de corriente necesaria para generar un potencial de acción dependiendo la duración del estímulo. A:Aurícula, V: Ventrículo.

Notemos que mientras más corto sea la duración del estímulo, será necesario una intensidad mayor de corriente. Dado que los marcapasos utilizan batería, es necesario hacer un uso eficiente de ésta. Por lo tanto, es bueno calcular la carga dependiendo la duración del estímulo. La carga puede calcularse como:

$$Q = Id \quad (1)$$

Para asegurar una duración larga de la batería, es bueno tener el mínimo gasto de Q , dependiendo la duración "d" necesaria en cada caso.

2 ¿Qué tipos de marcapasos hay?

En el mercado se encuentran distintos tipos de marcapasos, todos con el objetivo de estimular al ventrículo, generando la contracción de éste. Entre los marcapasos disponibles, se encuentran, los marcapasos de tasa fija, que trabajan estimulando a una frecuencia contante, y los marcapasos de disparo, que son aquellos que sensan antes de estimular.

2.1 Marcapasos asincrónico, de tasa fija

Este tipo de marcapasos estimula al ventrículo a una tasa constante. La tasa es fija, aunque en algunos modelos puede variarse de forma externa a través de un programador.

En la Fig. 2 se observan las formas de onda de la aurícula, el ventrículo y el ECG. Notemos que el marcapasos produce el disparo independientemente de lo que esté ocurriendo.

La frecuencia constante hace que este tipo de marcapasos no responda a las necesidades fisiológicas que podría a llegar a tener el sujeto. Es decir, el marcapasos no responde a las variaciones en la frecuencia cardíaca que puede haber si el sujeto se encuentra en reposo, en ejercicio, durmiendo, etc.

2.2 Marcapasos de disparo auricular

Este marcapasos es llamado de disparo auricular o de onda P. A través de un electrodo se sensa la aurícula. Al detectarse la onda P, se espera un pequeño tiempo (el tiempo que tardaría el estímulo generado en el nodo SA en llegar al nodo AV) y posteriormente se produce el disparo en el ventrículo.

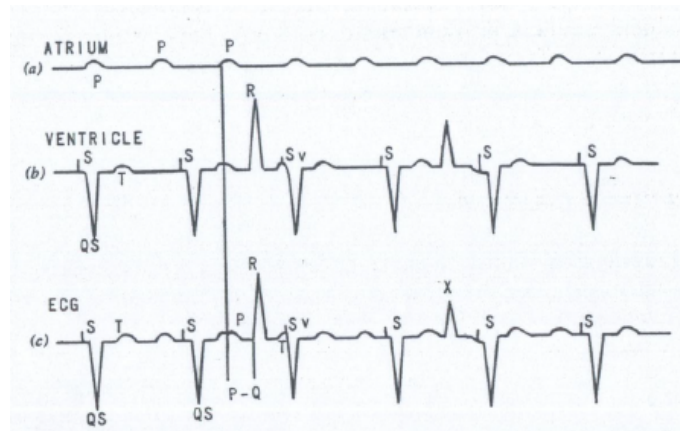


Figure 2: De tasa fija. Formas de onda del ventrículo, aurícula y ECG. La letra "S" indica los momentos en que el marcapasos dispara provocando el estímulo. Las ondas negativas son artificiales, las positivas, propias del corazón.

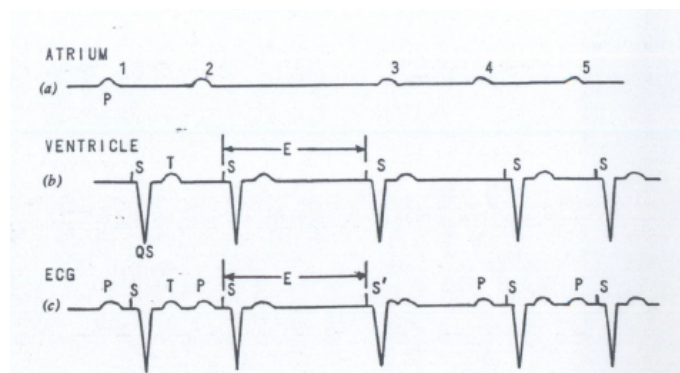


Figure 3: De disparo auricular. Formas de onda del ventrículo, aurícula y ECG. La letra "S" indica los momentos en que el marcapasos dispara provocando el estímulo. Las ondas negativas son artificiales, las positivas, propias del corazón. "E" es el lapso que espera el marcapasos a detectar una nueva onda P, en caso de no detectarla, estimula de todas formas.

Puede llegar a pasar que no se detecte la onda P, dada esta situación, el marcapasos esperará un tiempo predefinido "E", si la onda P no es detectada aún, entonces se produce de todas formas el disparo. En la Fig. 3 puede verse este caso.

2.3 Marcapasos de disparo ventricular sincrónico

En este caso también se produce un sensado antes de estimular. A diferencia del caso anterior en donde se sensaba la aurícula y se estimulaba el ventrículo, acá se produce el sensado y el estímulo solamente en el ventrículo.

Este marcapasos sensa la onda R y estimula en el periodo refractario del ventrículo, así, el estímulo no tiene efecto. En caso de no detectarse la onda R dentro de un lapso de tiempo "E", el marcapasos produce un disparo. En este caso, si tendrá efecto el estímulo, provocando una contracción.

2.4 Marcapasos de disparo ventricular inhibido

Es similar al marcapasos anterior, con la diferencia de que al sensar la onda R, no se produce el estímulo hasta que transcurra un tiempo de preset "E".

Si no se detecta la onda R, a partir de la ultima detectada, dado el tiempo "E", el marcapasos estimula. Si en cambio, si se detecta la onda R, el marcapasos se inhibirá.

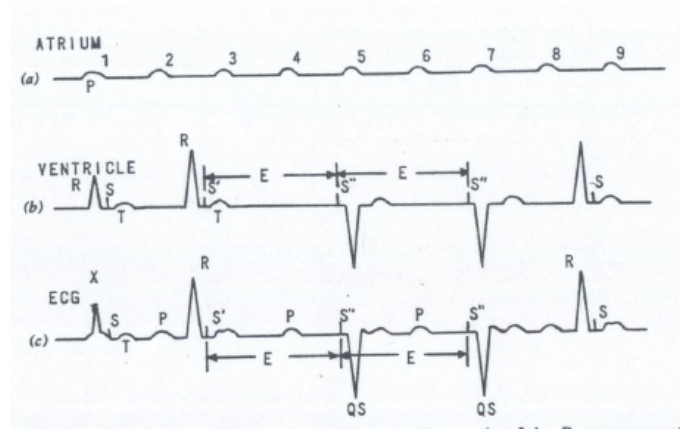


Figure 4: De disparo ventricular sincrónico. Formas de onda del ventrículo, aurícula y ECG. La letra "S" indica los momentos en que el marcapasos dispara provocando el estímulo. Debe notarse que al haber onda R, se estimula, pero en el periodo refractario del ventrículo.

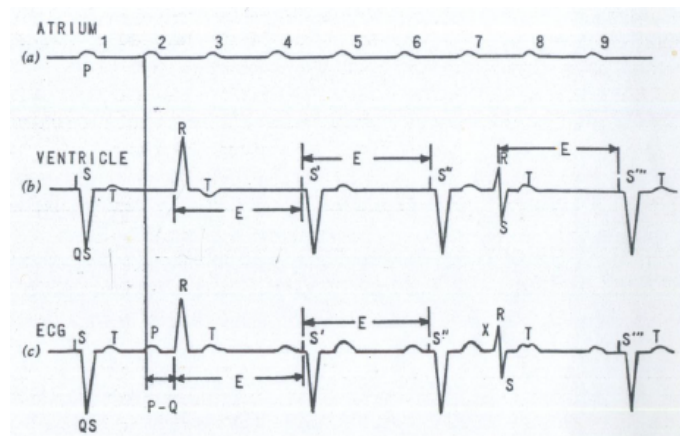


Figure 5: De disparo ventricular inhibido. Formas de onda del ventrículo, aurícula y ECG. La letra "S" indica los momentos en que el marcapasos dispara provocando el estímulo. Debe notarse que al haber onda R, se estimula, pero en el periodo refractario del ventrículo.

3 Explique diferencias, desventajas y ventajas de los marcapasos mencionados en el punto anterior.

Como se dijo en el punto anterior, los marcapasos de tasa fija no responden a las necesidades fisiológicas del cuerpo, dado que siempre se encuentra estimulando al ventrículo a una frecuencia constante. Además, al estar siempre estimulando, consume bastante batería.

Los marcapasos de disparo auricular, si bien son atractivos por su forma de trabajo, tiene la dificultad de provocar arritmia auricular en pacientes con defectos en la conducción del nodo AV.

Los de disparo ventricular, en el caso del sincrónico, corre con la desventaja de estimular en el periodo refractario, esto hace que haya un consumo innecesario de batería. En cambio, el marcapasos de disparo ventricular inhibido, el cual es el más usado, solo estimula en los casos de ausencia de la onda R, lo que lo hace más inteligente y mucho más eficiente en el consumo de la batería.

4 Explique brevemente que es un Desfibrilador

El desfibrilador es un aparato que emite una descarga eléctrica no sincronizada (en cualquier punto eléctrico del ciclo cardíaco) con el objetivo de causar una despolarización completa del miocardio que permita al nodo sinusal, o al nodo que predomine en el paciente, retomar el ritmo cardíaco. En la Fig. 6 se observa un diagrama en bloques de un

desfibrilador.

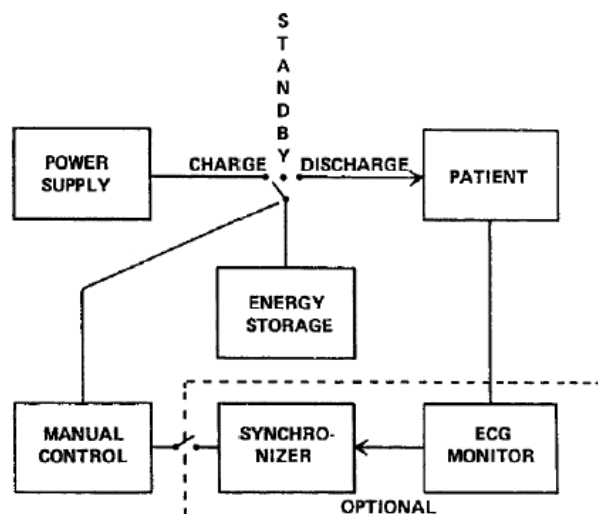


Figure 6: Diagrama en bloques de un desfibrilador

La mayoría tiene un monitor ECG integrado y un sincronizador (líneas punteadas) aunque es opcional su uso. Al tener el monitor integrado se aumenta la velocidad de diagnóstico de arritmias, especialmente cuando el ECG es monitoreado a través de los mismos electrodos que son usados para aplicar el shock del desfibrilador.

5 Deep Brain Stimulation: ¿En qué consiste?

La deep **brain stimulation** (DBS) es un procedimiento quirúrgico en donde se insertan neurotransmisores que envían impulsos eléctricos en ubicaciones específicas del cerebro, para tratar desordenes neuro psiquiátricos.

La DBS provee beneficios terapéuticos para desordenes como la enfermedad de Parkinson, distonia, dolor crónico, desordenes obsesivo compulsivo, síndrome de Tourette.

El estímulo en estas áreas bloquea las señales eléctricas que causan los síntomas de éstas enfermedades. En forma general, podemos decir que la DBS consta de cuatro partes:

- Uno o varios cables denominados *derivaciones* o como dijimos anteriormente, *electrodos* que son colocados dentro del cerebro.
- Se utilizan anclajes para fijar los electrodos al cráneo.
- El neuro estimulador encargado de enviar los impulsos eléctricos.

6 ¿Qué efectos adversos puede llegar a tener la DBS?

Si bien la DBS es de mucha ayuda para pacientes como desordenes neurológicos, puede haber efectos adversos como apatía, alucinaciones, depresión, euforia. Puede llegar a haber complicaciones mayores, como grandes cambios de personalidad.

Esto es debido a que, durante la cirugía, los electrodos pueden ser desplazados erróneamente de la localización específica que deben ser colocados. Estas contingencias pueden ser resueltas, a través de una revisión de la posición a través de tomografía computada, y luego proceder a la re ubicación de éstos.

7 Análisis del modelo de Ackerman para insulina y glucosa

El modelo de Ackerman indica un modelo en variables de Estado para modelar la evolución de la insulina y la glucosa en un ser humano según las siguientes ecuaciones. T

$$\frac{dG}{dt}(t) = -p_1(G(t) - G_b) - p_2(I(t) - I_b)$$

$$\frac{dI}{dt}(t) = p_4(G(t) - G_b) - p_3(I(t) - I_b).$$

Figure 7: Ecuaciones del modelo en variables de estado.

Parámetros	Valores estimados
p_1	$2,73281 \cdot 10^{-2}$
p_2	$6,60192 \cdot 10^{-2}$
p_3	$5,64145 \cdot 10^{-1}$
p_4	$1,34963 \cdot 10^{-1}$
G_0	$3,88734 \cdot 10^2$
I_0	$7,64246 \cdot 10^2$
T_0	40,28408
EMC	0,85807

Figure 8: Valores de las constantes del modelo

Por ende, defino el modelo con las matrices:

$$A = \begin{bmatrix} -p_1 & -p_2 \\ p_4 & p_3 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Como la matriz C es una identidad, cada una de las dos salidas del sistema indican directamente la evolución de cada variable de estado. La matriz B será la que cambiaremos según que estímulos daremos al sistema.

Empecemos con $B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$, lo que se traduce como una entrada solamente de glucosa. Estimulamos al sistema con un tren de pulsos de 1% de la duración total del sistema. Para una duración total de 10 segundos obtenemos:

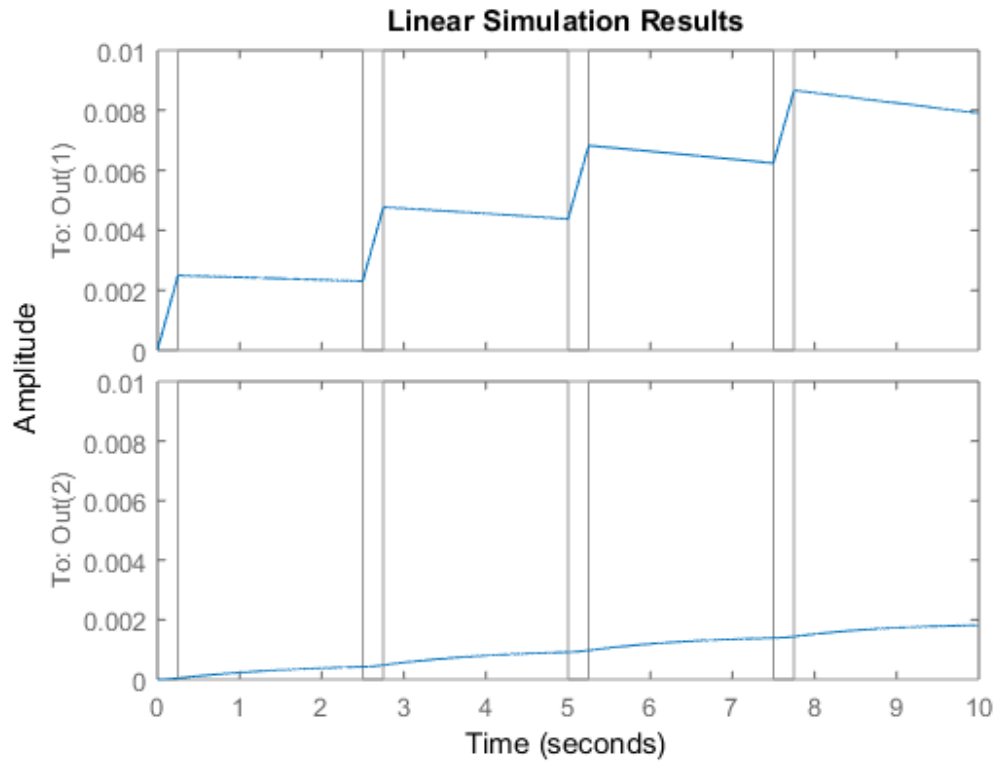


Figure 9: Evolución de glucosa e insulina frente a impulsos de glucosa

Podemos ver que la glucosa se eleva pero que sus sistemas de control tienen constantes de tiempo demasiado largas para apreciarse en este tiempo. Por su parte, la insulina aumenta progresivamente según la cantidad de glucosa que hay. Esto tiene sentido con el modelo : SI la cantidad de glucosa en el cuerpo aumenta, se liberará más insulina para intentar absorberla.

Miremos ahora que ocurre si alargamos el tiempo de ejecución:

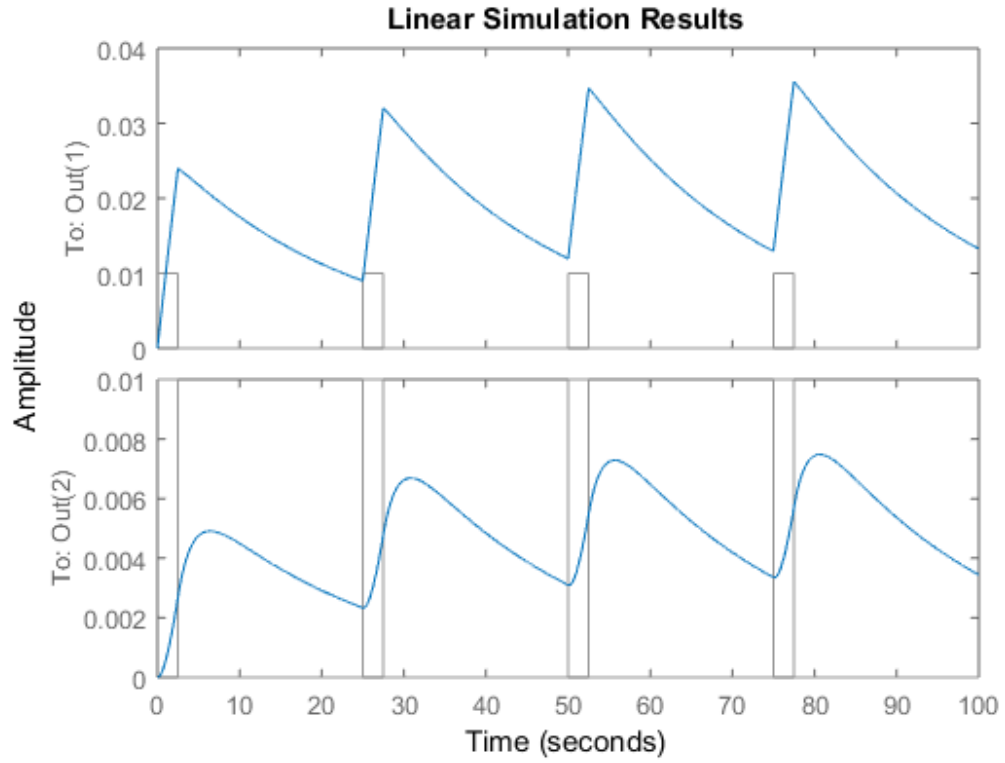


Figure 10: Evolución de glucosa e insulina frente a impulsos de glucosa en 100 segundos

Ahora si vemos como la glucosa y la insulina logran completar sus ciclos y estabilizarse mutuamente, reduciendo su cantidad luego de cada entrada de glucosa.

Ahora analicemos que sucede si la excitación es una entrada de glucosa, es decir que $B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$.

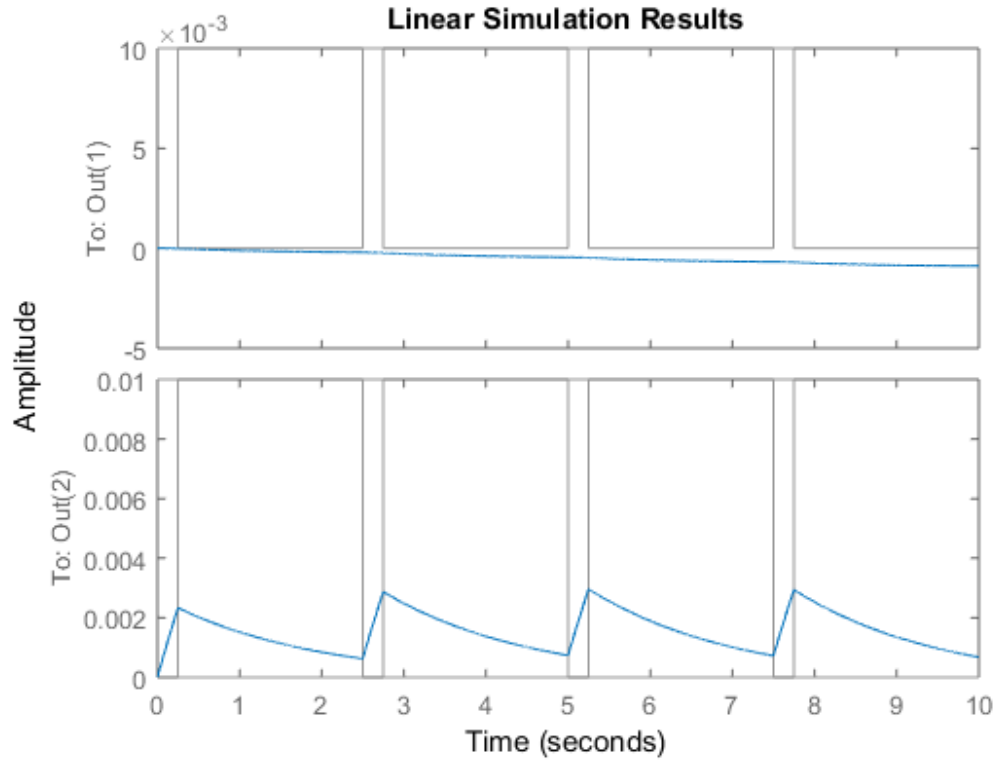


Figure 11: Evolución de glucosa e insulina frente a impulsos de insulina en 10 segundos

Vemos que la insulina se autoregula. La glucosa desciende progresivamente, lo cual concuerda con el modelo : La presencia de insulina hace bajar la cantidad de glucosa en la sangre.

7.1 Paciente Diabético Tipo I

Ahora queremos simular un paciente con diabetes Tipo 1. El mismo es incapaz de producir insulina. Por ende, frente a un ingreso de glucosa, no debería haber respuesta de la insulina.

En nuestro modelo, la variable de la matriz A de la ecuación de la insulina que la relaciona con la glucosa debería ser 0. Por ende $p_4 = 0$.

La matriz B de la entrada la ponemos como $B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$, para que sea solo un escalón de glucosa. El mismo no debería afectar entonces la producción de insulina.

Obtenemos los siguientes resultados:

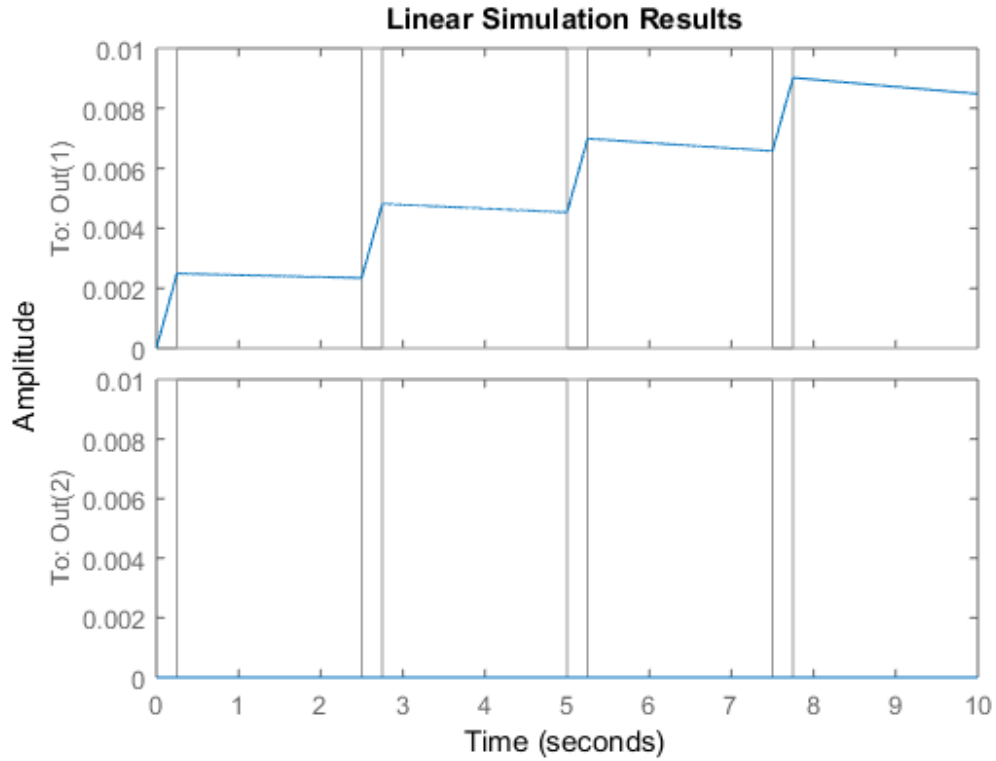


Figure 12: Evolución de glucosa e insulina frente a un escalón de glucosa en un paciente diabético de tipo 1.

Vemos como la glucosa evoluciona pero no desciende tan rapidamente por la falta de la acción de la insulina. Sin embargo, desciende un poco por las funciones de autoregulación que tiene el modelo. La insulina por su lado, se queda en 0 ya que la producción de glucosa no excita su producción.

7.2 Paciente Diabético Tipo II

El diabético de tipo II si produce insulina, pero sus receptores están dañados, por lo cual es inservible para cumplir su función para ayudar a absorber la glucosa.

En nuestro modelo, en la ecuación de la glucosa, la constante que la relaciona con la insulina debe ser pequeña, pero no 0 ya que hay una pequeña reabsorción. Esta constante es p_2 , que debe ser pequeña comparada al valor inicial del modelo.

Por otro lado, la constante p_1 se encarga de la autorregulación de la glucosa. Esta variable por ende también debería ser más pequeña, pero no tan atenuada como la variable p_2 .

Según observaciones empíricas, vamos a tomar a p_2 como el 0.001% del valor inicial, y a p_1 como el 0.05%.

La entrada va a ser un escalón y la matriz B será $\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ para mostrar la regulación lenta de la diabetes tipo 2: Un escalón de glucosa, aunque haya también una entrada de insulina en ese momento, no logra ser regulada y queda en valores elevados.

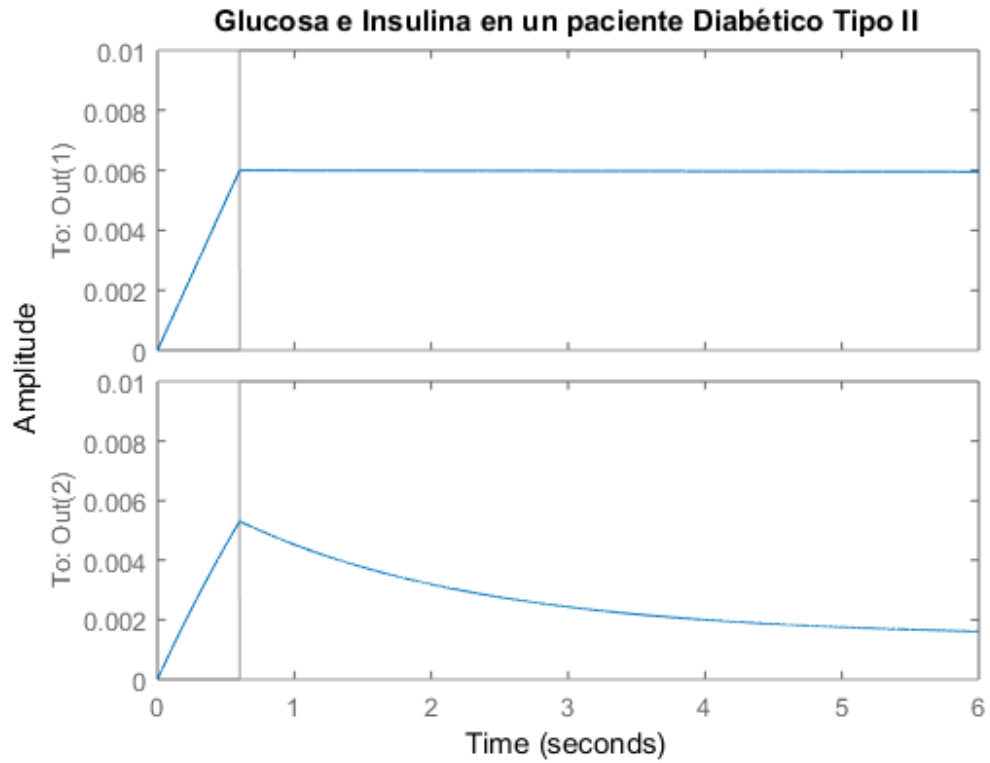


Figure 13: Evolución de glucosa e insulina frente a un escalón de glucosa en un paciente diabético de tipo 2.

En concordancia con el modelo, la glucosa queda casi estable independientemente de la insulina. Si dejamos correr al modelo por mucho tiempo la glucosa si logra volver a sus niveles adecuados, pero es dañino para el ser humano poseer niveles de glucosa tan elevados por tanto tiempo.