



## UT III SESIÓN 4

### **Índice glucémico. Metabolismo y control de la glucemia**

#### **Objetivo general:**

El alumno comprenderá los procesos implicados en el metabolismo de la glucosa y su regulación por el sistema endocrino para mantener la glucemia en rangos normales.

#### **Objetivos específicos:**

- Interrelacionar los procesos digestivos y endocrinos involucrados en la regulación de la homeostasis de la glucemia
- Conocer las principales hormonas del sistema endocrino para la regulación de los niveles de glucemia
- Entender el concepto de índice glucémico y carga glucémica
- Aprender a usar el glucómetro, su aplicación y análisis los resultados
- Diseñar un experimento, analizar e interpretar los resultados.

#### **Resultados de Aprendizaje.**

- El alumno entenderá los conceptos de índice glucémico y carga glucémica
- El alumno entenderá los determinantes de la glucemia y sus mecanismos de regulación.

#### **Cuestionario.**

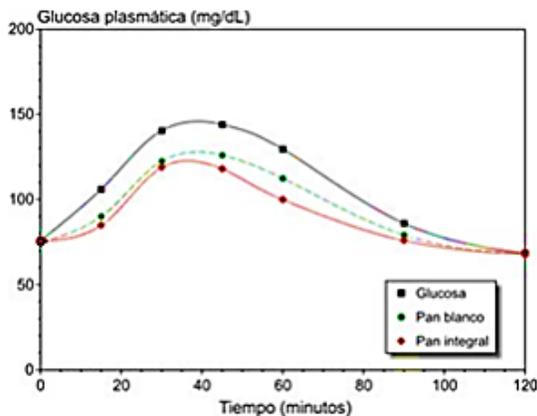
1. Definir los siguientes términos: insulina, glucagón, postprandial, hiperglucemia, hipoglucemia, resistencia a la insulina, índice glucémico, carga glucémica, diabetes.
2. Describir cuáles son los valores normales de glucemia y cómo se mantienen.
3. Realizar un esquema de los mecanismos para la liberación de insulina por el páncreas
4. Mencionar cómo ejercen sus efectos la insulina y el glucagón y describir cuál es el resultado de la activación de sus receptores en los órganos blanco.
5. Discutir qué importancia tiene mantener un nivel adecuado de glucosa de forma aguda y crónica.
6. ¿Cómo se relacionan las complicaciones de la diabetes con la hiperglucemia y el hiperinsulinismo?
7. ¿Cuáles son las manifestaciones clínicas de una hiperglucemia y de una hipoglucemia y cuáles pueden ser causas de cada una?
8. ¿Por qué puede haber glucosuria en un paciente diabético?
9. ¿Cómo funciona un glucómetro?
10. ¿Cuáles son los criterios diagnósticos para diabetes?



## Introducción

Mantener niveles adecuados de glucosa en sangre (75-100 mg/dl) es fundamental para mantener una buena homeostasis del organismo. Niveles bajos de glucosa pueden producir alteraciones cognitivas, pérdida de la conciencia, convulsiones y eventualmente la muerte, entre otros. Niveles crónicamente elevados de glucosa pueden producir daño en múltiples sistemas siendo los principales: cardiovascular, renal, nervioso, inmunológico, entre otros.

El consumo de alimentos es necesario para mantener una fuente de glucosa. Tras consumir un alimento, los niveles de glucosa en sangre se elevarán y requerimos sistemas de control para detectar dichos cambios, y realizar los ajustes necesarios para mantener la glucemia dentro de niveles normales. La glucemia postprandial depende de diversos factores incluyendo el tipo de comida, los mecanismos de absorción y variaciones propias de cada individuo. En un intento de predecir el efecto de diferentes alimentos sobre el cambio en la glucemia postprandial, Jenkins y Wolever propusieron usar el **índice glucémico (IG), que cuantifica la respuesta glucémica ante un alimento (consumido en una cantidad fija y sin combinar)** que contiene la misma cantidad de carbohidratos que un alimento de referencia (50g de glucosa). Este índice refleja que tan rápido se digieren y absorben los carbohidratos. La glucosa tiene el máximo índice glucémico y se le asigna un valor de 100. La curva de cambios en la glucemia producida por otros alimentos es comparada con la producida por 50g de glucosa para obtener su índice glucémico (Ver Figura 1). Existen alimentos con alto, mediano o bajo índice glucémico.



**Figura 1.** Cambios en la glucemia postprandial tras el consumo de glucosa, pan blanco y pan integral. Utilizando la glucosa como patrón, el área bajo la curva glucémica se establece en un valor arbitrario de 100 unidades. Al comparar las áreas de las curvas asociadas a otros alimentos con esa área, se obtienen los *índices glucémicos* de dichos alimentos

Dado que normalmente no se consumen los alimentos en cantidades fijas y sin combinar se propuso usar un parámetro llamado **carga glucémica (CG)**. Para calcular la carga glucémica se considera la siguiente fórmula:

$$CG = \text{índice glucémico} (\text{contenido total de carbohidratos (g)} - \text{contenido de fibra (g)})/100$$



Por ejemplo: Una ración de un plátano tiene un índice glucémico de 50 aproximadamente y contiene aproximadamente 24 g de carbohidratos, de los cuales 3g son fibra. Por lo tanto, la carga glucémica de un plátano es:  $CG = 50 * (24-3) / 100$  da como resultado 10.5.

Conocer el índice glucémico o la carga glucémica de los alimentos puede ser importante en el manejo de enfermedades como la diabetes, donde se prefieren alimentos que no produzcan cambios tan drásticos en los niveles plasmáticos de glucosa. Además, estos valores se relacionan íntimamente con la glucemia y con la insulinemia postprandial.

Además de que la glucemia postprandial difiere de acuerdo con los alimentos que consumimos, existe una gran cantidad de hormonas que mantienen la homeostasis de la glucosa en sangre. Una de estas es la insulina, una proteína sintetizada por las células beta pancreáticas, que se secreta después de consumir una comida rica en hidratos de carbono y permite una rápida captación, almacenamiento y aprovechamiento de la glucosa por casi todos los tejidos, principalmente: músculo, tejido adiposo e hígado. Cuando falta insulina los procesos relacionados con la degradación de los lípidos y su uso con fines energéticos se estimulan. Dentro de las principales hormonas contra reguladoras de la insulina se encuentran el glucagón secretado por las células alfa del islote pancreático, el cortisol, secretado por la glándula suprarrenal y la adrenalina sintetizada en la medula suprarrenal, las cuales aumentan los niveles de glucosa en sangre, y activan la utilización de las reservas energéticas en el organismo, generando disminución en los efectos de la insulina a nivel periférico.

En esta práctica se realizarán dos actividades

- 1) Actividad: Respuesta glucémica ante un alimento
- 2) Actividad: Simulador en computadora sobre el papel de la Insulina en el control de la Glucemia.

**Materiales:**

1. Datos ya recopilados de un estudio previo donde se evaluó la glucemia tras la ingesta de diferentes alimentos.
2. Muestras de “suero” de participantes del estudio (se proporcionarán).
3. Glucómetro y las tiras reactivas (se proporcionarán).
4. Computadoras con el programa PhysioEx Instalado.



**ACTIVIDAD 1: Respuesta glucémica ante un alimento**

En un estudio para investigar el efecto sobre la glucemia que tenían diferentes alimentos, se seleccionaron voluntarios, se dividieron en grupos a quienes se les pidió ayunar por un periodo de 10 horas y una vez transcurrido el ayuno se les dieron diferentes alimentos.

**Grupo 1:** 250 ml de bebida energética y dos “poptars” de Kellogs.

**Grupo 2:** Bagel con 2 cucharadas de crema de cacahuete, y un plátano.

**Grupo 3:** 200 gramos de jamón y 120 gramos de queso Oaxaca.

A continuación, se dan las características nutricionales de cada tratamiento. Nótese que las calorías totales son muy parecidas.

Descripción	Kcal Totales	Carbohidratos (g)	Grasa (g)	Proteína (g)	Fibra (g)
Bebida energética de 250 ml	115	26	0	1	0
2 Pop Tars de Kellogs	406	76	10	4	1
<b>Total</b>	<b>521</b>	<b>102</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>1</b>
Baguel mediano	280	56	2	11	2
Platano	105	27	0	1	3
2 cucharadasde mantequilla de mani	180	6	16	8	2
<b>Total</b>	<b>565</b>	<b>89</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>7</b>
200 gramos de jamon	240	8	8	36	0
120 gramos de queso oaxaca	280	4	20	36	0
<b>Total</b>	<b>520</b>	<b>12</b>	<b>28</b>	<b>72</b>	<b>0</b>

A en la siguiente página se proporcionan las determinaciones de la glucemia para cada grupo, tanto en ayuno y a diferentes tiempos tras la ingesta de los diferentes alimentos.

**Registro de glucemia a diferentes tiempos postprandiales tras diferentes tratamientos**

	Grupo 1									
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Ayuno	79	103	107	101	109	72	95	77		
30 min	129	93	92	87	77	152	166	135		
60 min	108	158	141	128	154	175	135	118		
2 hrs.	105	143	116	105	146	145	109	114		

	Grupo 2									
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Ayuno	86	79	77	76	77	83	89	71		
30 min	86	159	100	88	124	115	105	87		
60 min	123	147	98	92	103	121	122	100		
2 hrs.	112	91	89	101	86	115	120	114		





	Grupo 3									
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Ayuno	80	79	84	85	92	99	79	78		
30 min	89	84	80	83	102	76	88	87		
60 min	77	89	81	99	95	91	94	83		
2 horas	80	91	82	94	79	86	85	78		

Procedimiento:

1. Completa la tabla midiendo la glucemia en las muestras faltantes (S9 y S10), proporcionadas por el departamento.
2. Identifica si existen alteraciones que sugieran un trastorno del metabolismo de los carbohidratos en alguno de los participantes.
3. Calcula el promedio y la desviación estándar para cada tiempo dentro de cada grupo.
4. Evalúa por medio de una *T. de Student* si hay diferencias significativas entre: a) diferentes puntos de tiempo de un mismo tratamiento, o b) entre diferentes tratamientos al mismo tiempo.
5. Grafica los resultados.
6. Identifica en las gráficas cuál de los grupos recibió alimentos con carga glucémica alta, baja y media.

Preguntas:

¿Cuáles son las bases fisiológicas que subyacen a estas diferencias?

¿En qué difieren los criterios de la ADA (American Diabetes Association), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Secretaría de Salud de México para determinar si hay trastornos en el metabolismo de la glucosa?

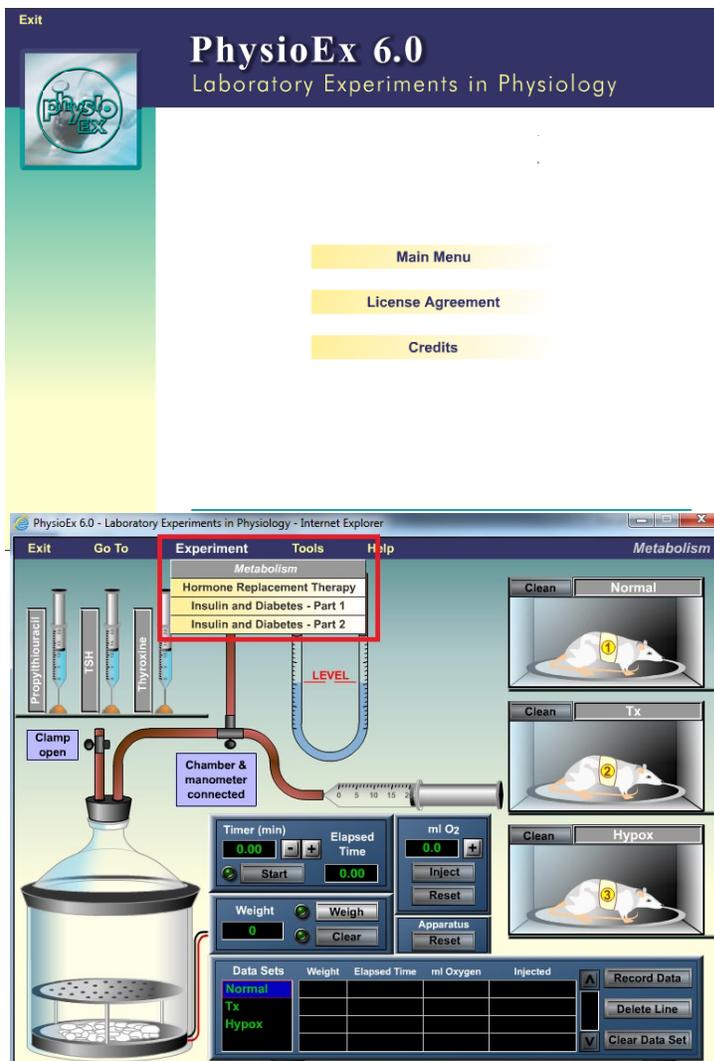
¿Cómo se realiza una prueba de tolerancia oral a la glucosa y en que casos se indica realizarla?

ACTIVIDAD 2: Papel de las células beta pancreáticas en el control de la Glucemia

Las dos computadoras de los laboratorios tendrán en el escritorio una carpeta llamada “PhysioEx 6.0”. Para hacer más dinámica la clase y trabajar en equipos, se sugiere que se solicite a los alumnos traer otras computadoras y copiar dicho programa a sus computadoras.

Metodología.

Abra la carpeta con el nombre PhysioEx 6.0 ubicada en el escritorio de la computadora. Se abrirá una pantalla con varios archivos, en la cual se debe dar clic en Start\_PhysioEx6.0. Abrirá una página de internet, posterior a aceptar los términos y condiciones, se observará una ventana como la siguiente:

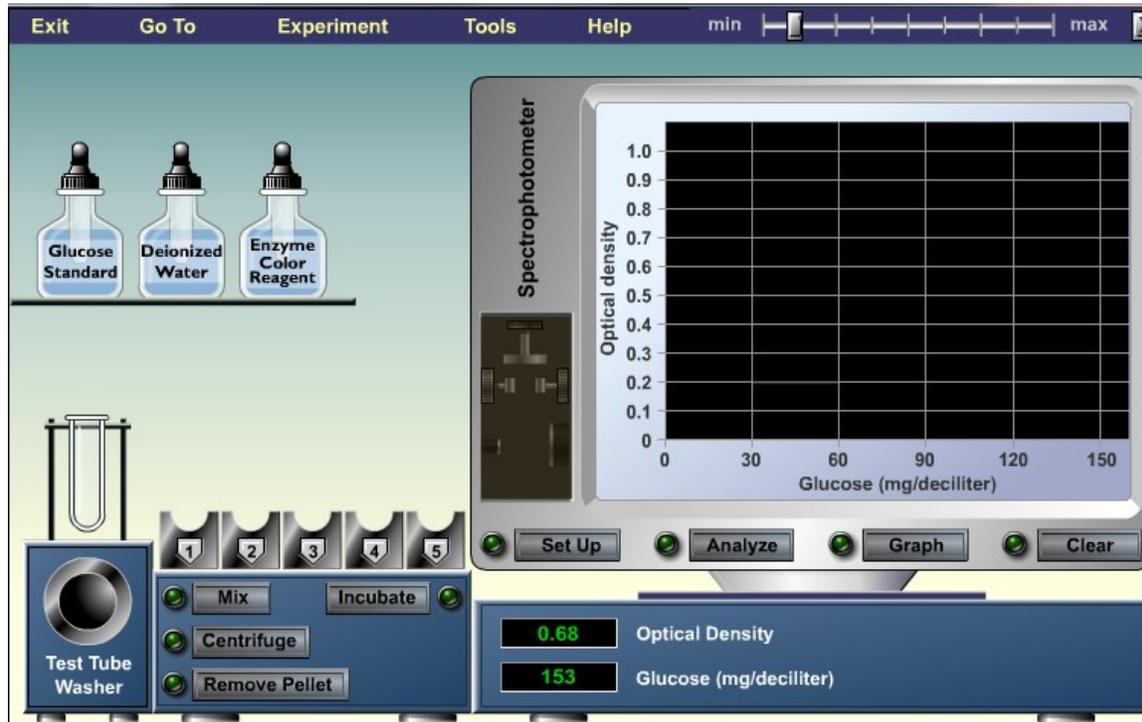


Seleccionar Menú principal (*Main Menu*), para acceder a las diferentes actividades que ofrece el programa.

Dar clic en el punto 4 – *Endocrine System Physiology*, Se observara una ventana como la siguiente:

Dar clic en “Experiment” y seleccionar la barra de “*Insulin and Diabetes-Part 1*”

En la primera parte del experimento aparecen:



Lado izquierdo:

Soluciones en frasco gotero con glucosa estándar, agua desionizada y enzima cromogénica

Tubo de ensayo vacío, y gradilla para tubos de ensayo con la numeración de 1 al 5

Del lado derecho:

Aparece un espectrofotómetro, el cual es uno de los instrumentos, que dentro de la investigación se usa para medir diferentes cantidades de luz de diferentes longitudes de onda absorbidas y transmitidas por una solución coloreada. Se usará para determinar cuanta glucosa hay en las muestras de los diferentes tubos de ensayo con solución previamente preparada.

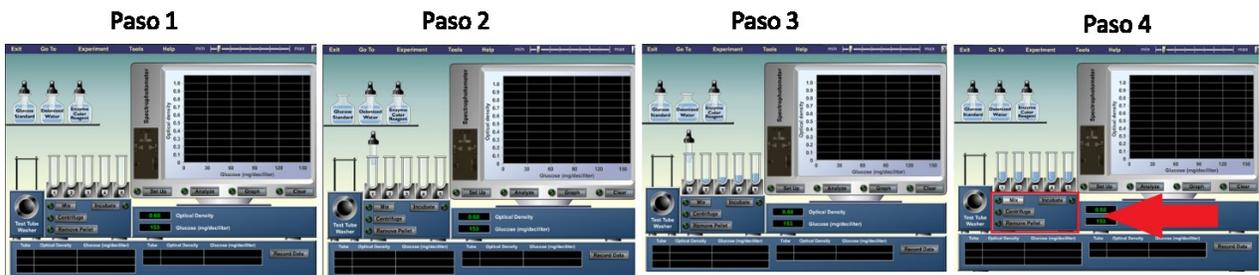
Paso 1. Dar clic en el tubo de ensayo y arrastrar a la ranura 1 de la gradilla. Automáticamente el distribuidor de tubos otorgara uno nuevo. Se debe de repetir la operación hasta llenar las 5 ranuras con los tubos de ensayo.

Paso 2. Dar clic en la cabeza del gotero del frasco con el nombre “*glucose standar*” y arrástralo hasta el tubo de ensayo de la ranura número 1, automáticamente verterá solución y regresará al frasco donde estaba. Se debe de repetir esta operación con los tubos de ensayo restantes.



Paso 3. Dar clic sobre la cabeza del gotero de frasco con nombre “*deionized water*” y arrastrar hasta el tubo de ensayo no. 1, automáticamente se añaden gotas al tubo de ensayo y el gotero regresa al frasco. Se debe repetir esta operación con los tubos de ensayo 2 al 4.

Paso 4. Dar clic en el botón “Mezclar” (*mix*), después en el botón “centrifuge” y posteriormente en el botón “*remove pellet*”.



Paso 5. Seleccionar la cabeza del gotero del frasco con el nombre “*enzyme-color reagent*” (reactivo enzimático para colorear) y arrastrar hasta el tubo de ensayo número 1. Repetir la operación con los tubos de ensayo restantes (del 2 al 5). Notara que se torna de color morado el líquido contenido en los 5 tubos de ensayo.

Paso 6. Dar clic en el botón “*incubate*”

Paso 7. Dar clic en el botón “*Set UP*”. Esto dejara listo el espectrofotómetro para analizar los tubos de ensayo.

Paso 8. Dar clic en el tubo de ensayo de la ranura 1 y arrastrar hasta el espectrofotómetro (arriba del botón Set Up). El tubo automáticamente se colocará en el lugar.

Paso 9. Dar clic en el botón “*ANALYZE*”. Observara que en la gráfica de la derecha se grafica un punto de color rojo, que corresponde a la medición de la densidad óptica obtenida del tubo de ensayo número 1. Debe de dar clic en el botón “*Record data*”.



Paso 10. Dar clic en el tubo de ensayo analizado por el espectrofotómetro y arrastrarlo hasta el lado izquierdo del simulador al “*Test Tube Washer*”

Paso 11. Repetir el paso 9 con los tubos de ensayo restantes (no.2 al no. 5)





Paso 12. Una vez que el espectrofotómetro haya analizado los 5 tubos se registraran los resultados y se debe de dar clic en “graph” para que nos muestre la **curva estándar de glucosa**, esta gráfica nos ayudara para la parte II del experimento.

PARTE II. INSULINA Y DIABETES

En este experimento administraras un fármaco que destruye las células beta pancreáticas y posteriormente evaluarás el efecto de administrarles insulina.

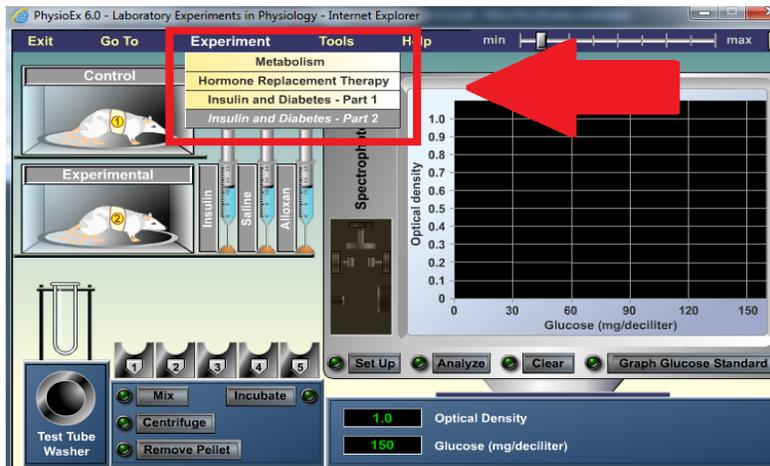
Tendrás cuatro grupos:

Ratas controles a las que les aplicas una inyección de solución salina.	Ratas controles a las que les aplicas una inyección de insulina.
Ratas con destrucción de las células beta pancreáticas a las que les aplicas una inyección de solución salina.	Ratas con destrucción de las células beta pancreáticas a las que les aplicas una inyección de insulina.

**Formula una hipótesis sobre como esperas encontrar los valores de glucosa en sangre en cada uno de los grupos. Fundamenta tu respuesta.**

Inicia el experimento:

Paso 1. Seleccionar “Experiment” de la barra superior del simulador y dar clic en “Insulin and diabetes – Part 2”



En la pantalla del lado izquierdo aparecerán dos ratas experimentales, una con el letrero de Control y otra con el letrero de Experimental. Al lado de ellas 3 jeringas, marcadas con el nombre de insulina, solución salina, aloxan, respectivamente. El aloxan es un fármaco que destruye selectivamente las células

beta pancreáticas. Abajo se mostrarán las ranuras enumeradas del 1-5, del dispensador de tubos, y los botones de mezclar, centrifugar, remover que se mostraron en la parte I del experimento. Del lado derecho de la pantalla se muestra el espectrofotómetro y botones iguales a la Parte I.





Paso 2. Dar clic en la jeringa con Solución Salina y arrastrar hasta la rata Control y soltar para inyectar al animal

Paso 3. Dar clic en la jeringa de Aloxan hasta la rata Experimental y soltar para inyectar al animal.

Paso 4. Dar clic en el tubo de ensayo del dispensador y arrastrar hasta la cola de la rata Control, caerán tres gotas de sangre al tubo y después arrastrar el tubo hasta la ranura con el numero 1

Paso 5. Dar clic en un nuevo tubo de ensayo del dispensador y arrastrar a la cola de la rata Experimental, se verterán 3 gotas de sangre se arrastrará el tubo a la ranura con el numero 2

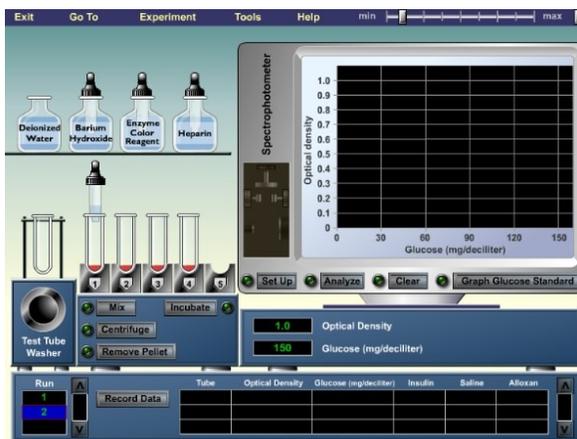
Paso 6. Dar clic en la jeringa de insulina y arrastrar hasta la rata Control y soltar para inyectar.

Paso 7. Repetir el paso 6 con la rata Experimental.

Paso 8. Obtener con tubos de ensayo nuevas muestras de sangre de la rata control y experimental, y colocar en la ranura 3 y 4 correspondiente.

Paso 9. Dar clic en el botón “*Obtain reagents*”. (encima de las jeringas)

Al dar clic en el botón, desaparecerán las dos ratas y las jeringas y aparecerán 4 frascos rotulados con el nombre de Agua desionizada, Hidróxido de Bario, Reactivo con enzima cromogénica y Heparina respectivamente.



Paso 10. Dar clic en la cabeza del gotero del frasco marcado como *Deionized Water* y arrastrar hasta el tubo de la ranura número 1. Repetir esta operación con todos los tubos de ensayo.

Paso 11. Dar clic en la cabeza del gotero del frasco marcado con el nombre *Barium Hydroxide* y arrastrar hasta el tubo de ensayo número 1, se añadirán gotas al tubo. Repetir la operación con todos los tubos de ensayo.

Paso 12. Dar clic en la cabeza del gotero con el frasco marcado como Heparin y arrastrar hasta el tubo de ensayo en la rendija número 1, se verterán gotas al tubo. Repetir la operación con los todos los tubos de ensayo.

Paso 13. Seleccionar el botón de *Mix*, después pulsar el botón *Centrifuge* y posteriormente dar clic en el botón *Remove Pellet*.

Paso 14. Dar clic en la cabeza del gotero del frasco con el nombre *Enzyme Color Reagent* y arrastrar hasta el tubo de ensayo de la ranura 1. Repetir la operación con todos los tubos de ensayo. Dar clic en el botón *Incubate*.

Paso 15. Dar clic en el botón *Set Up* del espectrofotómetro, el cual activara el instrumento para poder analizar los tubos de ensayo (como en la parte I del experimento).

Paso 17. Dar clic en el botón de *Graph Glucose Standard*. Aparecera la gráfica del experimento I (curva standard)

Paso 18. Dar clic en el tubo de ensayo de la ranura número 1 y arrastrar hasta el espectrofotómetro, el tubo se colocará en su lugar. Dar clic en el botón *Analyze* y aparecerá una línea horizontal en la gráfica que corresponde a la densidad óptica medida para dicha muestra.

Paso 19. Arrastra la línea roja (vertical en el lado derecho del espectrofotómetro) y observa los cambios que ocurren en el Indicador de Glucosa (debajo del espectrofotómetro). ¿Qué valor obtienes cuando se interceptan la línea horizontal con la curva estándar? En este punto de intersección pulsa *Record Data*.



Paso 20. Dar clic en el tubo de ensayo que está en el espectrofotómetro y arrastrar al Test Tube Washer. Dar clic en el botón *Clear*. Repita los pasos 18 a 21 con los tubos restantes.

Responde las siguientes preguntas:

- 1) Menciona otra forma para medir la glucemia, y explica cuál es el mecanismo para hacer dicha medición
- 2) ¿Para qué se requiere hacer una curva estándar?
- 3) ¿Qué enzima crees que se pudo haber usado en este experimento? ¿Cuál es el papel del hidróxido de bario?
- 4) ¿Qué esperarías ver si hicieras el mismo experimento, con ratas que tuvieran resistencia a la insulina?
- 5) ¿Qué esperarías ver si en lugar de insulina inyectaras las siguientes hormonas: glucagon, cortisol, noradrenalina?



## Resultados

Realiza un reporte de práctica de las dos actividades realizadas. Discute los resultados en el contexto del papel de los sistemas endocrino, gastrointestinal y nervioso en regulación de la homeostasis de la glucemia.

## Referencias

- Guyton, A. C. y Hall, J. E. Tratado de Fisiología Médica. 13a Ed. Barcelona, España. Editorial Elsevier Saunders, 2016.
- Ganong WF. Fisiología Médica. Mc Graw Hill - Lange, 25ª Edición 2016.
- Boron W. y Boulpaep, E. Medical Physiology, 3a Ed., Philadelphia, Editorial Elsevier Saunders, 2017.
- Mari K. Hopper and Luke W. Maurer, Adv Physiol Educ 37: 254–263, 2013  
Jenkins DJ, et al. Am J Clin Nutr., 1981.