

## Artículo Original / Original Article

### Efectos de la actividad física sobre el consumo y selección de alimento en ratas que fueron expuestas a restricción alimentaria durante la gestación

### Effects of physical activity on the consumption and selection of food in rats that were exposed to food restriction during pregnancy

#### RESUMEN

Las alteraciones durante la vida prenatal tienen diversos efectos en los organismos. La restricción alimentaria materna ocasiona modificaciones en la conducta alimentaria como hiperfagia y su exacerbación ante la exposición a una dieta hiperlipídica. La evidencia experimental indica que aun cuando existe una preferencia por los alimentos altos en grasa, cuando las ratas realizan actividad física, esta preferencia disminuye o se elimina. **Objetivo:** evaluar el efecto de la restricción alimentaria materna sobre el consumo de una dieta suplementada con nuez pecana y cómo influye la actividad física. El experimento incluyó 22 ratas, 11 del grupo experimental y 11 del grupo control. De los cuales 6 realizaron actividad y 5 permanecieron sedentarias en cada grupo (machos y hembras). El experimento duró 114 días, de los cuales 42 días tuvieron disponible la rueda de actividad. Los resultados mostraron que la restricción alimentaria materna no modificó el comportamiento alimentario, sin embargo, cuando incrementaron la actividad por la disponibilidad de la rueda de actividad, los sujetos experimentales aumentaron su consumo de nuez pecana. Los resultados se consideran contradictorios con respecto a la literatura, ya que muestran ausencia de hiperfagia e incremento en el consumo a la par del incremento en actividad física.

**Palabras clave:** Comportamiento alimentario; Dieta alta en grasa; Nuez pecana; Programación fetal; Ratas.

#### ABSTRACT

Alterations during prenatal life have various effects on organisms. Maternal food restriction causes changes in feeding behavior such as hyperphagia and its exacerbation when exposed to a hyperlipidic diet. Experimental evidence indicates that even when there is a preference for high-fat foods, when rats do physical activity, this preference decreases or is eliminated. **Objective:** to evaluate the effect of maternal dietary restriction on the consumption of a diet supplemented with pecan nuts and how physical activity influences this relationship. The experiment included 22 rats, 11 experimental and 11 controls. Of these, 6 performed physical activity and 5 remained sedentary in each group

(males and females). The experiment lasted 114 days; the activity wheel was available on 42 days. The results showed that maternal food restriction did not modify eating behavior, however, when rats increased physical activity, experimental subjects increased their consumption of pecan nuts. The results are contradictory with respect to the literature, as they show an absence of hyperphagia and an increase in consumption along with an increase in physical activity. **Key words:** Feeding behavior; Fetal programming; High fat diet; Pecan nut; Rats.

#### INTRODUCCIÓN

Dentro del estudio de la programación fetal se ha propuesto que las alteraciones en la nutrición fetal y el estado

Ana Patricia Zepeda<sup>1\*</sup>, Antonio López<sup>1</sup>,  
Patricia Josefina López<sup>2</sup>, Carmen Livier García<sup>3</sup>.

1. Instituto de Investigaciones en Comportamiento Alimentario y Nutrición (IICAN), Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara, Ciudad Guzmán, Jalisco, México.
2. Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara, Ciudad Guzmán, Jalisco, México.
3. Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, Autlán de Navarro, Jalisco, México.

\*Dirigir correspondencia a: Ana Patricia Zepeda Salvador.  
Dirección postal: Av. Enrique Arreola Silva, Colonia Centro, 883, Edificio X. 49000, Cd. Guzmán, Jal. México.  
Tel. 00 52 (341)575 22 22 ext. 46123, 46102.  
E-mail: [anapatricia.zepeda@gmail.com](mailto:anapatricia.zepeda@gmail.com)  
[ana.zepeda@cusur.udg.mx](mailto:ana.zepeda@cusur.udg.mx)

Este trabajo fue recibido el 17 de marzo de 2019.  
Aceptado con modificaciones: 10 de octubre de 2019.  
Aceptado para ser publicado: 05 de noviembre de 2019.

endocrino resultan en adaptaciones durante el desarrollo que cambian permanentemente la estructura, fisiología y metabolismo. Estas adaptaciones pueden predisponer a enfermedades endocrinas, metabólicas y cardiovasculares durante la vida adulta<sup>1</sup>.

Los cambios reportados no ocurren solo a nivel fisiológico y morfológico, existen reportes de modificaciones a nivel conductual. En particular, en relación al comportamiento alimentario se ha reportado un aumento en el consumo de alimento o hiperfagia<sup>2</sup>, un aumento en el consumo de agua<sup>3</sup>, una alteración en la selección de alimento<sup>4</sup>, una mayor ansiedad en el consumo de agua<sup>3</sup> y una disminución en la respuesta hedónica a los alimentos<sup>5</sup>.

Se ha señalado que el consumo de una dieta alta en grasa exagera los efectos de la programación fetal durante la vida adulta. Vickers et al., (2000) señalaron que en sujetos con restricción del crecimiento intrauterino se presenta hiperfagia, y si se expone a los sujetos a una dieta alta en grasa, esta se exagera, asimismo, existe una disminución en la actividad locomotora y ante la exposición a una dieta alta en grasa esta disminuye aún más<sup>6</sup>.

No obstante, las alteraciones reportadas en la conducta alimentaria ante la exposición a una dieta alta en grasa pueden ser minimizadas por medio de la realización de actividad física. En modelos de obesidad se ha reportado que la actividad física esporádica (tres días cada dos semanas) disminuye parcialmente la hiperfagia ocasionada por la exposición a una dieta alta en grasa en ratas con obesidad inducida por la dieta<sup>7</sup>; además, se presenta una normalización de los patrones de consumo de alimento en ratas Otsuka Long-Evans Tokushima, que son ratas con una predisposición genética para el desarrollo de obesidad, demostrando que la disponibilidad de una alternativa como la rueda de actividad puede aminorar los efectos en el consumo de alimento y el peso corporal<sup>8</sup>.

Como se puede evidenciar, la relación entre la actividad física y el consumo de una dieta alta en grasa tiene resultados diversos, no obstante, esta relación no ha sido completamente caracterizada, y en modelos de programación fetal la evidencia experimental es escasa. Por ello, se considera necesario el estudio de estas variables en un modelo de programación fetal. Es necesario señalar que gran parte de los estudios que utilizan la exposición a una dieta alta en grasa para medir sus efectos sobre el consumo de alimento, recurren a alimentos cuya fuente de grasa es manteca o aceite vegetal<sup>9</sup>, mientras que el uso de alimentos altos en grasas monoinsaturadas y poliinsaturadas que además tienen propiedades funcionales, permanece sin caracterización en modelos de programación fetal. Se ha documentado que una dieta alta en grasa complementada con nueces pecanas no incrementa el porcentaje de grasa total ni el peso corporal, mientras que una dieta alta en grasa proveniente de manteca vegetal y aceite de maíz sí lo hace<sup>9</sup>.

Por ello se propuso este estudio, en el que los sujetos estuvieron expuestos a una dieta suplementada con un

alimento alto en grasa monoinsaturada y poliinsaturada compuesta por alimento estándar para animales de laboratorio y nuez pecana. Con el objetivo de evaluar los efectos de la restricción alimentaria materna y la actividad física sobre el consumo de alimento y peso corporal.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Protocolo experimental

El estudio incluyó cuatro grupos, con 5 sujetos los grupos control sedentario y experimental sedentario y 6 sujetos los grupos control activo y experimental activo, todos los grupos incluían machos y hembras. Todos los grupos consumieron ad libitum durante todo el experimento una dieta que estuvo compuesta por dos alimentos: a) Purina Rodent Laboratory Chow 5001 que contiene 23.9% de proteína, 5.0% de grasa, 5.1% de fibra y 48.7% de extracto libre de nitrógeno, con 3.02 kcal/g de energía metabolizable; y b) nuez pecana (*Carya illinoensis*) cuya composición nutrimental de 100 g de nuez pecana es de 7.1 g de hidratos de carbono, 71.4 g de grasa total, de los cuales 7.1 g provienen de ácidos grasos saturados, 42.8 g de ácidos grasos monoinsaturados y 21.4 g de ácidos grasos poliinsaturados, 10.7 g provienen de proteínas y tiene un aporte de 7.1 g de fibra, con un aporte de energía de 749 kcal. El agua potable que se proporcionó a los sujetos fue suministrada por un proveedor de la localidad. El ciclo de luz-oscuridad fue de 12:12 con luz artificial durante el día (08:00 a 20:00 horas) en el bioterio. El registro del peso corporal y consumo de alimento se realizó diariamente.

### Ratas

Se utilizaron ratas de la cepa Wistar provenientes del Bioterio del Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara. El estudio incluyó 22 ratas de las cuales 11 provenían de madres con restricción alimentaria y 11 de madres alimentadas ad libitum durante la gestación. Las ratas tenían 25 días de edad al inicio del experimento y con un peso corporal promedio de 99.1 g, 114.8 g, 109.5 g y 140.4 g de las hembras experimentales, hembras controles, machos experimentales y machos controles respectivamente.

### Restricción alimentaria materna

Las madres de los sujetos control consumieron una dieta ad libitum, mientras que las madres de los sujetos experimentales tuvieron una restricción alimentaria materna del 50% con respecto al consumo de las madres control durante los días de gestación 11 a 21. En el periodo de lactancia todas las madres recibieron una dieta ad libitum y las camadas fueron estandarizadas a 6 sujetos.

### Análisis estadístico de los resultados

Los resultados se expresaron como media y desviación estándar. Para determinar los efectos de la restricción alimentaria materna y la actividad física se utilizó la prueba Kruskal-Wallis y U de Mann Whitney mediante la

comparación de las medianas. Los análisis se realizaron usando el paquete estadístico SPSS versión 15.0.1 y el nivel de significancia se estableció en 5%.

## RESULTADOS

La restricción alimentaria materna resultó en una restricción del crecimiento durante el desarrollo en las crías, manifestado por un menor peso corporal en el día 1 postnatal (hembras control:  $8,3 \pm 0,4$  g; hembras experimentales:  $6,8 \pm 0,8$  g; machos control:  $8,6 \pm 0,4$  g; machos experimentales:  $7,5 \pm 0,8$  g). Asimismo, a pesar de que las madres estuvieron bajo condiciones de libre acceso al alimento durante la lactancia y la reducción de la camada, los sujetos permanecieron con un peso corporal menor al finalizar la lactancia (hembras control:  $114,8 \pm 22,8$  g; hembras experimentales:  $99,1 \pm 4,9$  g; machos control:  $140,4 \pm 28,3$  g; machos experimentales:  $109,5 \pm 13,03$  g).

No obstante, a pesar de la restricción del crecimiento durante la gestación, en la comparación de los sujetos experimentales vs sujetos control durante la fase de sedentarismo no hubo efectos en las variables consumo de alimento estándar ( $p = 0,59$ ), consumo de nuez ( $p = 0,25$ ) y peso corporal en las hembras ( $p = 0,05$ ), mientras que en los machos solo se encontraron diferencias en el consumo de alimento estándar ( $p = 0,001$ ).

Aun cuando los efectos de la restricción alimentaria materna sobre las crías no se presentaron en todas las variables de estudio, se evaluó el impacto de la actividad física sobre las variables de estudio en los sujetos expuestos a restricción alimentaria materna. Se encontraron diferencias en todas las variables en la comparación de los cuatro grupos.

En las hembras, durante la fase de actividad se compararon los grupos control activo vs experimental activo, se encontró que la restricción alimentaria no tuvo efecto sobre la conducta de consumo de alimento estándar ( $p = 0,07$ ), además, el peso corporal permaneció sin diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0,85$ ). No obstante, el consumo de nuez pecana si presentó diferencias siendo el grupo experimental activo el que presentó mayores consumos ( $p = 0,001$ ). Como dato adicional se presentó un mayor nivel de actividad física en el grupo experimental sin significancia estadística ( $p = 0,07$ ).

En los machos, los resultados de consumo de alimento estándar y nuez pecana fueron similares a los resultados de hembras, es decir, sin diferencias en el consumo de alimento estándar ( $p = 0,09$ ) y un aumento significativo en el consumo de nuez pecana ( $p = 0,001$ ). Además, durante esta fase el grupo experimental activo incrementó significativamente su peso corporal ( $p = 0,001$ ). Al igual que las hembras, la restricción alimentaria materna se vinculó a un mayor nivel de actividad física ( $p = 0,03$ ).

En el caso de los sujetos control, la actividad física tuvo un impacto significativo en las hembras, su consumo de alimento estándar disminuyó significativamente ( $p = 0,001$ ), mientras que el consumo de nuez pecana incrementó ( $p = 0,001$ ) en comparación con las hembras del grupo control

sedentario. Adicionalmente se presentó un incremento significativo en el peso corporal, siendo más pesadas las hembras del grupo control activo ( $p = 0,001$ ).

En el caso de los machos, el impacto de la actividad física fue mínimo, el consumo de alimento estándar ( $p > 0,58$ ) y nuez pecana ( $p = 0,09$ ) permaneció similar al grupo control sedentario.

En el caso de los sujetos experimentales, el impacto de la actividad física fue mayor que en sujetos control, tanto en machos como en hembras el consumo de alimento estándar disminuyó significativamente ( $p = 0,001$ ), mientras que el consumo de nuez pecana incrementó ( $p = 0,001$ ). A la par del incremento en el consumo de nuez pecana aumentó significativamente el peso corporal ( $p = 0,001$ ) (Figuras 1 y 2).

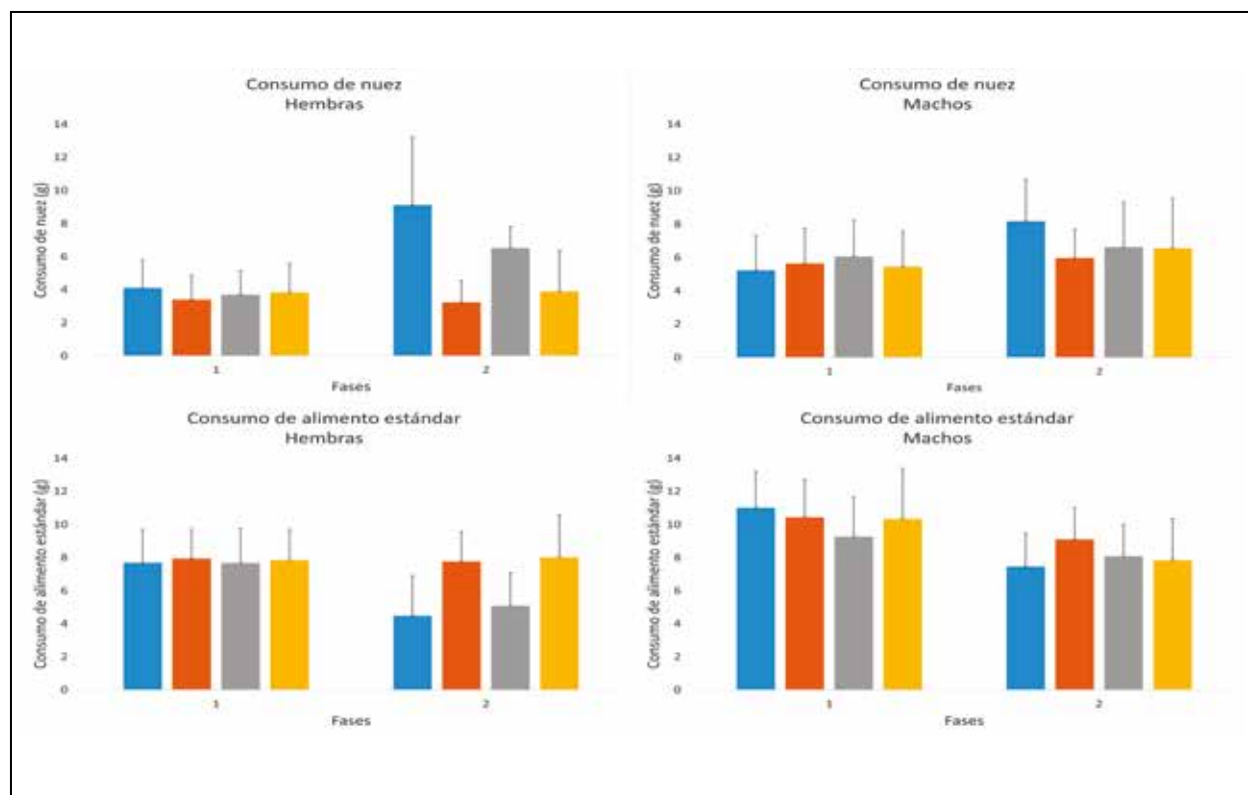
## DISCUSIÓN

Los resultados muestran que a pesar de existir la restricción de crecimiento intrauterino, las variables estudiadas no fueron afectadas durante la fase de sedentarismo. No obstante, cuando los sujetos realizaron actividad física, las variables estudiadas manifestaron cambios en los sujetos con restricción del crecimiento durante la gestación.

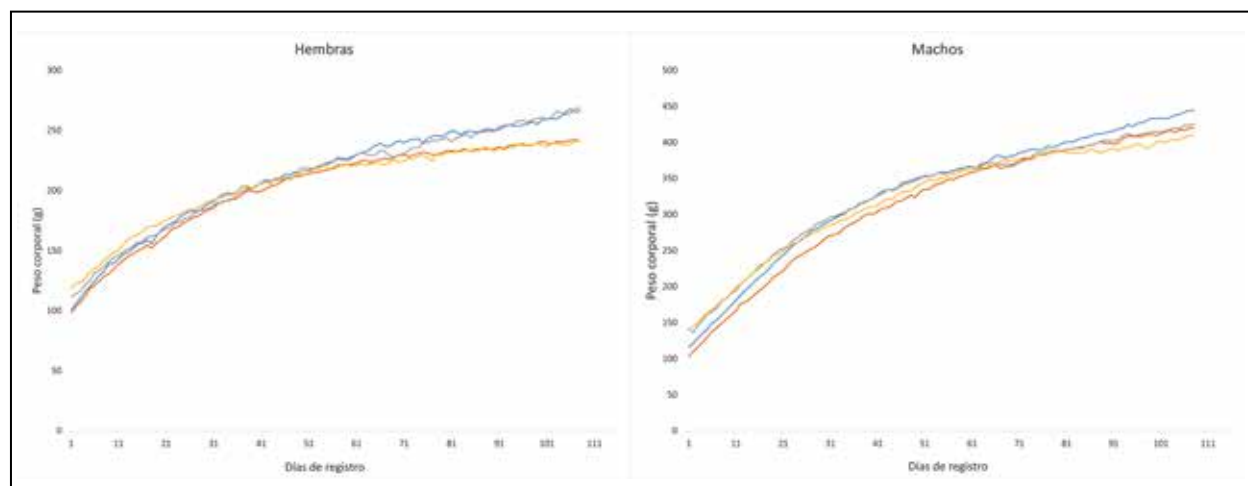
Este estudio confirma que la restricción alimentaria materna resulta en una restricción del crecimiento intrauterino. La restricción del crecimiento intrauterino ha sido asociada con el desarrollo de enfermedades, la ganancia de adiposidad central, la resistencia a la insulina, la diabetes mellitus tipo 2, las enfermedades cardiovasculares, la hipertensión y enfermedades renales<sup>10,11,12</sup>. Asimismo, se ha demostrado que la restricción del crecimiento intrauterino se asocia con un incremento en el hambre tanto en sujetos saciados como en sujetos hambrientos, lo cual se ha vinculado con una alteración en el núcleo arcuato del hipotálamo<sup>13</sup>.

Una de las razones que podría explicar la ausencia de efectos en la conducta alimentaria y peso corporal en los sujetos experimentales podría ser la falta de recuperación del crecimiento durante la lactancia. Se ha demostrado que el riesgo a presentar enfermedades se incrementa cuando la restricción del crecimiento intrauterino es seguida de una recuperación rápida del crecimiento, además, se reduce la expectativa de vida y se incrementa el riesgo de presentar obesidad<sup>14</sup>; se ha reportado que existe un deterioro temprano de la tolerancia a la glucosa<sup>15</sup>. Ong, Ahmed, Emmett, Preece y Dunger (2000) demostraron que, en humanos ante la restricción del crecimiento intrauterino, los infantes que tuvieron una recuperación del crecimiento durante los dos primeros años de vida fueron más altos, pesados y con mayor porcentaje de grasa corporal a los cinco años en comparación con otros niños<sup>16</sup>.

Fukami et al. (2012) reportaron que las ratas con restricción del crecimiento intrauterino que posteriormente recuperan su crecimiento tienen un incremento en el consumo de alimento, atribuyéndolo a una expresión alterada de genes que codifican péptidos orexigénicos y anorexigénicos en el tracto gastrointestinal<sup>13</sup>. No obstante, también se ha demostrado que cuando no existe una recuperación del



**Figura 1:** Consumo de alimento estándar y nuez. Las gráficas de la parte superior muestran los resultados del consumo de nuez, las de la parte inferior los resultados del consumo de alimento estándar. Las gráficas de la columna izquierda muestran el consumo de las hembras y las de la derecha de los machos. La barra azul corresponde al grupo experimental activo; la barra naranja al grupo experimental sedentario; la barra gris corresponde al grupo control activo y la barra amarilla al grupo control sedentario.



**Figura 2:** Peso corporal. La gráfica de la izquierda corresponde a las hembras y la de la derecha a los machos. La línea azul corresponde al grupo experimental activo; la línea naranja al grupo experimental sedentario; la línea gris corresponde al grupo control activo y la línea amarilla al grupo control sedentario.

crecimiento, los sujetos con restricción del crecimiento intrauterino permanecen con un consumo de alimento menor y con un peso corporal menor<sup>17</sup>.

Mientras que las hembras de ambos grupos permanecieron con consumo de alimento y peso corporal similar, los machos experimentales presentaron un incremento en el consumo de alimento. Se ha demostrado que hay diferencias con respecto al sexo en la programación fetal con independencia del tipo de intervención incluyendo intervenciones dietéticas, hipoxia y cirugías; habiendo un impacto molecular y fenotípico más adverso en los machos, incluso considerando que el desarrollo de las hembras y los machos deben ser revisados como procesos separados con diferencias tanto en los periodos críticos como en el resultado final<sup>18</sup>.

Otro resultado relevante es que una vez que las ratas incrementaron su actividad física por la disponibilidad de la rueda, aumentaron su consumo de nuez pecana, así, no solo evitaron la disminución de peso corporal, sino que lo incrementaron de forma significativa. Contrario a lo que ocurrió en el presente experimento, se ha reportado que la actividad física en la rueda reduce el consumo de alimentos altamente palatables, lo cual se ha demostrado con diferentes tipos de actividad y diferentes tipos de alimentación, así como diferentes cepas de ratas. Incluso se ha encontrado que no solo se reduce el consumo y preferencia por un alimento alto en dieta sino también se presenta una anorexia relativa al alimento alto en grasa, lo que resulta en una pérdida de peso corporal<sup>19</sup>.

Además, aun cuando el nivel de actividad física sea muy bajo, se ha reportado que cuando las ratas realizan actividad física, existe una reducción en el consumo de alimento alto en grasa en un modelo de obesidad y envejecimiento en ratas<sup>20</sup>. Asimismo, la disminución en el consumo del alimento palatable no ocurre solo con alimento alto en grasa. Eckel y More (2004) mostraron que la actividad física disminuye el consumo de una dieta estándar suplementada con leche azucarada, encontrando que la hiperfagia presentada durante una fase de sedentarismo fue eliminada por completo en los machos, mientras que en las hembras solo fue atenuada<sup>21</sup>.

Por otra parte, Satvat y Eikelboom (2006), mostraron que las ratas disminuyen el consumo de un alimento palatable, en este caso una solución de sacarosa al 24%, cuando tienen disponible la rueda de actividad, aun cuando la solución era un alimento familiar, ya que las ratas habían sido expuestas previamente a ella<sup>22</sup>. Lo mismo ocurrió en el estudio de Scarpace, Matheny y Zhang (2010) en el que se reportó que la actividad voluntaria en la rueda influye en la selección entre un alimento alto en grasa y un alimento estándar. Los investigadores demostraron que cuando las ratas tienen libre acceso a la rueda de actividad consumen cantidades similares de alimento estándar y alimento alto en grasa, eliminando la preferencia por el alimento alto en grasa registrada previo al acceso a la rueda. Esto se ha explicado señalando que existe una señalización mejorada de la leptina en el área tegmental ventral del cerebro, además

de argumentar que la actividad en la rueda sustituye las conductas que conducen a la selección de la dieta alta en grasa<sup>23</sup>.

Por otra parte, se ha demostrado que cuando las ratas tienen disponible un alimento alto en grasa vegetal, en un procedimiento para generar anorexia basada en actividad, en el que las ratas tienen una hora de acceso diario al alimento y libre acceso a la rueda de actividad, las ratas permanecen con un consumo de alimento alto en grasa similar al del grupo sedentario, no obstante, se presenta un decremento en el consumo de alimento estándar en el grupo activo en comparación con el grupo sedentario, esto se considera suficiente para detener la anorexia basada en actividad<sup>24</sup>.

Una de las causas del decremento en el consumo del alimento palatable durante la actividad física es la aversión generada por el mismo cuando el alimento es novedoso al momento en que inicia la actividad en la rueda, en este caso las ratas evitan por completo el alimento palatable incluso cuando se restringe el acceso a la rueda de actividad<sup>19</sup>. Esto se ha explicado como una forma de aprendizaje aversivo gustativo, en el que la rata adquiere una aversión alimentaria, porque asocia el malestar físico generado por la actividad física al consumo del alimento novedoso<sup>22</sup>. No obstante, cuando la actividad física inicia antes del acceso a la dieta novedosa alta en grasa, los sujetos se muestran hiperfágicos, disminuyendo gradualmente en los machos hasta no mostrar una preferencia por el alimento alto en grasa, mientras que en las hembras se mantiene un alto consumo durante todo el periodo de actividad<sup>19</sup>. Es probable que el acceso a la nuez pecana anterior al acceso a la rueda de actividad, haya sido un factor importante no solo para evitar la disminución en su consumo, sino incluso para incrementarlo, ya que era un alimento familiar para las ratas, por lo que no fue asociado al malestar producido por el inicio de la actividad física<sup>25</sup>, además de ser un alimento con alto contenido de energía que cubre con los requerimientos de energía derivados del incremento en la actividad física.

Es necesario señalar que el incremento en el consumo de nuez pecana en los sujetos experimentales activos se reflejó en el consumo total de energía, el cual fue significativamente más alto en comparación con el consumo del grupo de sujetos control activos. La nuez pecana es un alimento alto en grasa y de alta densidad energética, contiene 9.07 kcal por gramo de alimento, por lo que el incremento en su consumo incrementa el consumo de energía.

Además de los resultados contradictorios con respecto al incremento en el consumo de nuez pecana durante la fase de actividad, se encontró que los sujetos experimentales activos consumieron significativamente más nuez pecana que los sujetos control activos. Existen situaciones que presentan mayores desafíos para los organismos, Lesage et al. (2004) demostraron que el consumo basal de crías de madres expuestas a estrés por inmovilización es similar al consumo de alimento de crías control, no obstante, cuando se les expuso a una privación de alimento de 24 horas, las crías experimentales consumieron significativamente más

alimento. Esto fue explicado como una alteración en el comportamiento alimentario ante situaciones estresantes. Probablemente la hiperfagia fue un rasgo latente en los organismos que solo se expresó en una situación que lo requería debido al incremento en las demandas de energía producida por el incremento en la actividad física<sup>26</sup>.

Por otra parte, los resultados relacionados con el peso corporal mostraron que las hembras de los grupos activos incrementaron su peso corporal significativamente durante la fase de actividad. Es probable que el incremento en el peso corporal se deba al incremento en el consumo de energía derivada de la nuez pecana, ya que a pesar de que realizó actividad física y que esta presentó altos niveles, se incrementó su peso corporal.

En relación al peso corporal de los machos se encontró que los machos control fueron más pesados que su contraparte experimental en la fase de sedentarismo. La teoría de la programación fetal señala que la programación de la obesidad depende del tiempo en el que ocurra la alteración en el ambiente intrauterino, así como el ambiente postnatal en el que crezca el organismo. Se ha señalado que la obesidad ocurre principalmente en las crías que son sometidas a desnutrición durante las etapas tempranas de la gestación y que además presentan una recuperación temprana del crecimiento<sup>27</sup>. A pesar de que se confirmó la restricción del crecimiento intrauterino y hubo las condiciones para que se diera la recuperación del crecimiento con libre acceso a alimento estándar y nuez, además de agua, esta no ocurrió, aún en la etapa de adultez los machos experimentales permanecieron con un peso corporal más bajo que los machos control. No todos los estudios demuestran un incremento en el peso corporal, se ha encontrado que incluso a los 22 meses de edad, los sujetos experimentales no presentan obesidad cuando tienen libre acceso a alimento estándar<sup>28</sup>.

En el caso de los sujetos en los grupos sedentarios, no hubo indicios de que hubiera una tendencia a que los sujetos del grupo experimental sedentario presentaran obesidad, ya que su peso corporal permaneció similar al del grupo control sedentario durante la fase 2.

Por otra parte, las hembras de los grupos activos incrementaron su peso corporal significativamente durante la fase de actividad, en el caso de los machos esto solo ocurrió con el grupo experimental activo. Estos resultados difieren de la literatura, Moody et al., (2015) señalaron que la actividad física en la rueda disminuyó la preferencia de la dieta alta en grasa, además, las ratas permanecieron con un peso corporal más bajo en comparación con ratas sedentarias que tenían el mismo acceso simultáneo a una dieta alta en grasa y una dieta alta en carbohidratos<sup>19</sup>.

Con respecto a la variable actividad física, se encontró que las hembras fueron significativamente más activas que los machos. Este efecto diferencial se suma a la evidencia que existe al respecto en investigaciones anteriores, por ejemplo, Bartling et al. (2017) demostraron que, en ratones de laboratorio, las hembras son significativamente más activas

que los machos a una edad de dos meses, incrementando principalmente su velocidad más que el tiempo que pasan corriendo, no obstante, una vez que envejecen, estas diferencias disminuyen<sup>29</sup>.

Además, se encontró que el nivel de actividad física de las hembras control y experimental fue similar durante todo el periodo de actividad, mientras que los machos experimentales activos tuvieron un nivel de actividad física significativamente mayor que los machos control activos. Uno de los efectos que se ha encontrado en el estudio de la programación fetal es una alteración en los niveles de actividad física de los descendientes. El síndrome denominado como "coach potato", es un estilo de vida que describe a una persona sedentaria que pasa la mayor parte de su tiempo en actividades como ver la televisión sentado en un sillón y no realiza actividad física frecuente. Existen diversos hallazgos que sugieren que este síndrome puede tener sus orígenes en el desarrollo prenatal<sup>30</sup>. Los resultados de este experimento, contrastan con la evidencia que se ha generado en el estudio de la programación fetal, ya que, en el caso de los machos, fueron significativamente más activos en comparación con su contraparte control, y en el caso de las hembras, si bien no fueron más activas que las hembras control activas, presentaron niveles de actividad física similares.

Finalmente, tanto la literatura como los hallazgos del presente estudio muestran que las alteraciones nutricionales en el ambiente intrauterino tienen un impacto en los organismos. A la fecha se sigue considerando que el estatus físico y mental, el ambiente en el que se vive, la actividad física y los hábitos de alimentación de la madre pueden afectar permanentemente la salud y el estatus físico de sus hijos<sup>31,32</sup>. No obstante, como se demostró en este estudio las condiciones de vida postnatal tienen un mayor impacto en los organismos, así, si el ambiente en el que vive un organismo le permite realizar actividad física y existe una variedad de alimentos que le permiten seleccionar qué y cuanto consume, entonces el ambiente postnatal ocasionará mayores efectos en él en comparación con lo que sus antecedentes de vida prenatal puedan causar.

*Agradecimientos. Esta investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), con el número de beca 572745.*

## BIBLIOGRAFÍA

1. Godfrey KM, Barker DJ. Fetal nutrition and adult disease. *Am J Clin Nutr.* 2000;71(5 Suppl): 1344-1352.
2. Warren M, Bedi KS. The effects of a lengthy period of undernutrition on food intake and on body and organ growth during rehabilitation. *J Anat.* 1985; 141: 65-75.
3. Smart JL, Dobbing J. Increased thirst and hunger in adult rats undernourished as infants: an alternative explanation. *Br J Nutr.* 1977; 37(3): 421-30.
4. Barbieri MA, Portella AK, Silveira PP, Bettiol H, Agranonik M, Silva A. et al. Higher Spontaneous Carbohydrate Intake

- in Young Women. *Pediatr Res*. 2009; 65(2): 215-220.
5. Ayres C, Agranonik M, Portella AK, Filion F, Johnston CC, Silveira PP. Intrauterine Growth Restriction and the Fetal Programming of the Hedonic Response to Sweet Taste in Newborn Infants. *Int J Pediatr*. 2012; 2012: 1-5.
  6. Vickers MH, Breier BH, Cutfield WS, Hofman PL, Gluckman PD, Amiel S, et al. Fetal origins of hyperphagia, obesity, and hypertension and postnatal amplification by hypercaloric nutrition. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2000; 279(1): 83-87.
  7. Mifune H, Tajiri Y, Nishi Y, Hara K, Iwata S, Tokubuchi I, et al. Voluntary exercise contributed to an amelioration of abnormal feeding behavior, locomotor activity and ghrelin production concomitantly with a weight reduction in high fat diet-induced obese rats. *Peptides*. 2015; 71: 49-55.
  8. Bi S, Scott KA, Hyun J, Ladenheim EE, Moran TH. Running wheel activity prevents hyperphagia and obesity in Otsuka Long-Evans Tokushima fatty rats: Role of hypothalamic signaling. *Endocrinology*. 2005; 146(4): 1676-1685.
  9. Domínguez-Avila JA, Alvarez-Parrilla E, López-Díaz JA, Maldonado-Mendoza IE, Gómez-García MDC, De La Rosa LA. The pecan nut (*Carya illinoensis*) and its oil and polyphenolic fractions differentially modulate lipid metabolism and the antioxidant enzyme activities in rats fed high-fat diets. *Food Chem*. 2015; 168: 529-537.
  10. Bertrand J, Nicolescu R, Kaguelidou F, Verkauskienė R, Sibony O, Chevenne D, et al. Catch-up growth following fetal growth restriction promotes rapid restoration of fat mass but without metabolic consequences at one year of age. *PLoS One*. 2009; 4(4).
  11. Delisle H. Programming of chronic disease by impaired fetal nutrition. Evidence and implications for policy and intervention strategies. Switzerland, World Health Organization, 2002; p. 1-93.
  12. Ojeda NB, Grigore D, Alexander BT. Intrauterine Growth Restriction: Fetal Programming of Hypertension and Kidney Disease. *Adv Chronic Kidney Dis*. 2008; 15(2): 101-106.
  13. Fukami T, Sun X, Li T, Desai M, Ross MG. Mechanism of Programmed Obesity in Intrauterine Fetal Growth Restricted Offspring: Paradoxically Enhanced Appetite Stimulation in Fed and Fasting States. *Reprod Sci*. 2012; 19(4): 423-430.
  14. Ozanne SE, Hales CN. Poor fetal growth followed by rapid postnatal catch-up growth leads to premature death. *Mech Ageing Dev* 2005; 126(8): 852-854.
  15. Hales CN, Ozanne SE. The dangerous road of catch-up growth. *J Physiol*. 2003; 547(1): 5-10.
  16. Ong KKL, Ahmed ML, Emmet PM, Preece MA, Dunger DB. Team ALS of P and CS. Association Between Postnatal Catch-Up Growth and Obesity in Childhood: Prospective Cohort Study. *Br Med J*. 2000; 320: 967-971.
  17. Kitsuda K, Yamaguchi R, Nagata E, Nakagawa Y, Ohzeki T, Ogata T, et al., Hypertrophic fat cells in hypophagic intrauterine growth restricted rats without catch-up growth. *Kitasato Med J*. 2014; 44: 38-46.
  18. Aiken CE, Ozanne SE. Sex differences in developmental programming models. *Reproduction*. 2013; 145(1): 1-13.
  19. Moody L, Liang J, Choy PP, Moran TH, Liang N-C. Wheel running decreases palatable diet preference in Sprague-Dawley rats. *Physiol Behav*. 2015; 150: 53-63.
  20. Shapiro A, Cheng KY, Gao Y, Seo DO, Anton S, Carter CS, et al. The act of voluntary wheel running reverses dietary hyperphagia and increases leptin signaling in ventral tegmental area of aged obese rats. *Gerontology*. 2011; 57(4): 335-342.
  21. Eckel LA. Diet-induced hyperphagia in the rat is influenced by sex and exercise. *AJP Regul Integr Comp Physiol*. 2004; 287(5): R1080-R1085.
  22. Satvat E, Eikelboom R. Dissociation of conditioned and unconditioned factors in the running-induced feeding suppression. *Physiol Behav*. 2006; 89: 428-437.
  23. Scarpace PJ, Matheny M, Zhang Y. Wheel running eliminates high fat preference and enhances leptin signaling in the ventral tegmental area. *Physiol Behav*. 2010; 100(3): 173-179.
  24. Brown AJ, Avena NM, Hoebel BG. A high-fat diet prevents and reverses the development of activity-based anorexia in rats. *Int J Eat Disord*. 2008; 41(5): 383-389.
  25. Salvy SJ, Pierce WD, Heth DC, Russell JC. Wheel running produces conditioned food aversion. *Physiol Behav*. 2003; 80(1): 89-94.
  26. Lesage J, Del-Favero F, Leonhardt M, Louvart H, Maccari S, Vieau D, et al. Prenatal stress induces intrauterine growth restriction and programmes glucose intolerance and feeding behaviour disturbances in the aged rat. *J Endocrinol*. 2004; 181(2): 291-296.
  27. Remacle C, Bieswal F, Reusens B. Programming of obesity and cardiovascular disease. *Int J Obes*. 2004; 28: 46-53.
  28. Rodríguez-Rodríguez P, López De Pablo AL, García-Prieto CF, Somoza B, Quintana-Villamandos B, Gómez De Diego JJ, et al. Long term effects of fetal undernutrition on rat heart. Role of hypertension and oxidative stress. *PLoS One*. 2017; 12(2): 1-21.
  29. Bartling B, Al-Robaity S, Lehnich H, Binder L, Hiebl B, Simm A. Sex-related differences in the wheel-running activity of mice decline with increasing age. *Exp Gerontol*. 2017; 87: 139-147.
  30. Breier BH, Krechowec SO, Vickers MH. Maternal nutrition in pregnancy and adiposity in offspring. In: *Fetal nutrition and adult disease, programming of chronic disease through fetal exposure to undernutrition, USA*, CABI Publishing; 2004.
  31. Kim MH. Fetal programming and adult disease. *J Korean Soc Matern Child Health*. 2017; 21: 1-13.
  32. Marciniak A, Patro-Malyszka J, Kimber-Trojnar Z, Marciniak B, Oleszczuk J, Leszczynska-Gorzela B. Fetal programming of the metabolic syndrome. *Taiwan J Obstet Gynecol*. 2017; 56: 133-138.