

Archivos Mexicanos de **ANATOMÍA**

Sociedad Mexicana de Anatomía A.C.

- Efecto afrodisiaco de las β -carbolidinas
 - Anatomía del sistema circadiano
 - Desarrollo del truncus arteriosus
 - Esplacnología del pez erizo
 - Sistema digestivo de *Dorosoma cepedianum*
- Diferencias estacionales de las habilidades cognitivas
 - Bazo vagabundo
 - El problema mente-cuerpo
- Estatus del embrión humano



ARCHIVOS MEXICANOS DE ANATOMIA **Nueva Época**

Órgano oficial de la Sociedad Mexicana de Anatomía A.C.

Archivos Mexicanos de Anatomía. Nueva Época es la continuación de Archivos Mexicanos de Anatomía (1960-1990)

Editor

Enrique Canchola Martínez

Editores asociados

Armando Pérez Torres y Miguel A. Herrera Enríquez

Comité Editorial

Manuel Ángeles Castellanos	Isabel García Peláez
S. Manuel Arteaga Martínez	Manuel Granados Navarrete
Adriana Becerril Montes	Patricia Herrera Saint-Leu
Gregorio Benítez Padilla	Ismael Herrera Vázquez
Joaquín Carrillo Farga	Francisco Jaramillo González
Andrés Castell Rodríguez	J. Rogelio Lozano Sánchez
Luis Delgado Reyes	Abigail Meza Peñaloza
Carolina Escobar Briones	Joaquín Ocampo Martínez
Gildardo Espinosa de Luna	Carlos Serrano Sánchez
Ricardo García Cavazos	



SOCIEDAD MEXICANA DE ANATOMÍA A.C.
Mesa Directiva 2007 - 2008

Presidente Honorario

Gildardo Espinosa de Luna

Presidente Activo

Sebastián Manuel Arteaga Martínez

Secretario

Manuel Ángeles Castellanos

Tesorero

Andrés E. Castell Rodríguez

Primer Vocal

Ramón Rosales Gutiérrez

Segundo Vocal

Ma. Isabel García Peláez

Vocal de Embriología

Luis Muñoz Castellanos

Vocal de Histología

Adriana Becerril Montes

Vocal de Anatomía Comparada

Mario García Lorenzana

Vocal de Antropología

Abigail Meza Peñaloza

Vocal de Cirugía

Luis Delgado Reyes

Vocal de Radiología

Carlos Rodríguez Terviño

ARCHIVOS MEXICANOS DE ANATOMIA
Nueva Época

Vol. 2 N° 1 Junio 2007

CONTENIDO

- 8 [Editorial](#)
Enrique Canchola Martínez

Investigación morfológica

- 9 [Evidencia del efecto afrodisiaco de las \$\beta\$ -carbolinas análogos de la melatonina](#)
Jorge Haro Castellanos, Adán Martínez, Enrique Canchola Martínez
- 15 [Anatomía de un reloj \(Anatomía del sistema circadiano\)](#)
Manuel Ángeles Castellanos, Katia Rodríguez, Roberto Salgado-Delgado, Carolina Escobar Briones
- 21 [Estudio experimental del desarrollo del truncus arteriosus del corazón de embrión de pollo](#)
Isabel García-Peláez, Manuel Arteaga Martínez

Anatomía comparada

- 31 [Esplacnología del pez erizo, *Diodon hystrix* \(Teleostei: Diodontidae\)](#)
Abraham Kobelkowsky
- 35 [Morfología del sistema digestivo de *Dorosoma cepedianum* \(Pisces: Clupidae\)](#)
Abraham Kobelkowsky, Selene Ortiz-Burgos

Investigación educativa

- 39 [Diferencias estacionales en las habilidades cognitivas](#)
Enrique Canchola Martínez, Carlos Kerbel-Lifshitz, Jorge Vieyra Durán, Jorge Haro Castellanos

Reporte de casos

- 43 [Bazo vagabundo. Reporte de un caso y revisión de la literatura](#)
Gervasio Samuel Vásquez Ruiz, Víctor Hugo Mercado Gómez, José Refugio Santamaría Aguirre, Eduardo Roveló Lima, Ernesto Jaime Solís

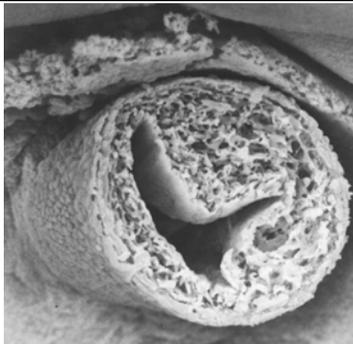
Humanidades

- 47 [Acerca del problema Mente-Cuerpo](#)
Joaquín Ocampo Martínez
- 51 [Estatus del embrión humano](#)
Manuel Arteaga Martínez, Isabel García Peláez, Samuel P. Gallegos Serrano
-

Portada

Fotomicrografía electrónica
de barrido del truncus
arteriosus del corazón de
embrión de pollo

Fotografía: Dra. Isabel García-Peláez



EDITORIAL

Estimados Socios y amigos de la Sociedad Mexicana de Anatomía. Con este volumen 2 número 1 estamos iniciando una nueva etapa de nuestra revista Archivos Mexicanos de Anatomía, con el entusiasmo renovado, ya que la Editorial Médica Panamericana, amablemente, se hará cargo de la edición y la distribución de nuestra revista. Consideramos que esta interacción con esta prestigiada casa editorial redundará en múltiples beneficios mutuos. Por otra parte queremos hacer del conocimiento de todos ustedes que nuestra sociedad cumplió cincuenta años de existencia en el mes de marzo del presente año, lo cual fue festejado nombrando al presente **AÑO ACADÉMICO** de nuestra sociedad como el **AÑO DEL CINCUENTENARIO** y con una emotiva reunión extraordinaria en el auditorio Raoul Fournier de la Facultad de Medicina de la UNAM, a la que asistieron distinguidas personalidades; después tuvimos la oportunidad de compartir los alimentos y el baile en la Casa Club del Académico de la UNAM. Sin lugar a dudas esta vital longevidad de nuestra sociedad es el resultado del entusiasmo de todos los socios, familiares y amigos, por lo que damos las más cumplidas gracias y esperamos seguir contando con su distinguida amistad y apoyo.

Por otra parte queremos invitarlos a publicar sus artículos en Archivos Mexicanos de Anatomía por lo que estamos a la espera de ellos y les hacemos una atenta invitación para participar en la Reunión Nacional de Anatomía que este año se llevará a cabo en la Universidad Autónoma de Chiapas en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez en el mes de octubre.

Atentamente
Dr. Enrique Canchola Martínez
Editor

Evidencia del efecto afrodisiaco de las beta carbolinas análogos de la melatonina

Jorge Haro Castellanos, Adán Martínez,
Enrique Canchola Martínez
Departamento de Biología de la Reproducción.
División de Ciencias Biológicas y de la Salud.
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

Título corto:
Beta carbolinas efecto afrodisiaco

Correspondencia:
Dr. Enrique Canchola Martínez
Departamento de Biología de la Reproducción.
División de Ciencias Biológicas y de la Salud.
Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa.
Av. Michoacán y Purísima.
09340 - México, D.F.
A.P.55-532
Tel. 58-04-49-10
Fax: 58-04-49-30
E-Mail: cancho@xanum.uam.mx.

Resumen

La conducta sexual masculina de ratas macho adultas se constituye por los aspectos motivacionales o apetitivos y los consumatorios. En el presente trabajo reportamos que la administración aguda de 1mg/kg de melatonina y dos de sus análogos: 6-amino-1-oxo-1,2,3,4-tetrahydro- β -carbolina (6-aminocarbolina), y 6-acetamido-1-oxo-1,2,3,4-tetrahydro- β -carbolina (6-acetamidocarbolina) a ratas macho adultas, modifica los componentes, de la conducta sexual masculina. Los análogos de la melatonina tienen un efecto afrodisiaco, es decir, facilitan la expresión de la conducta sexual mientras que la melatonina tiene un efecto anafrodisiaco o inhibitorio. La melatonina inhibe el aspecto motivacional, induciendo un aumento estadísticamente significativo en el periodo refractario posteyaculatorio con respecto al control y sus dos análogos. La 6-acetamidocarbolina y la 6-aminocarbolina, aumentan el aspecto motivacional de la conducta sexual, disminuyendo en forma estadísticamente significativa la latencia para la primera monta, la latencia de intromisión, el periodo refractario posteyaculatorio y aumentando el número de animales que responden. De los análogos, la 6-aminocarbolina es el fármaco más efectivo ya que disminuye significativamente el periodo refractario posteyaculatorio e incrementa el número de animales que copulan. Por otra parte, no encontramos en este estudio una diferencia estadísticamente significativa entre los análogos en los parámetros latencia para la primera monta y latencia de intromisión. En cuanto al aspecto de consumación sexual, la frecuencia de monta está disminuida en forma estadísticamente significativa por la 6-aminocarbolina, seguida de la 6-acetamidocarbolina y la melatonina, la frecuencia de intromisión es igualmente aumentada por ambos análogos y disminuida por la melatonina. En cuanto a la frecuencia de eyaculación, los análogos la aumentan, siendo nuevamente la 6-aminocarbolina la más efectiva, en cambio la melatonina disminuye este parámetro. La latencia de eyaculación los análogos la disminuyen y la melatonina la aumenta. Por otra parte los análogos inducen una mayor eficiencia copulatoria. De acuerdo a los datos obtenidos en este experimento podemos proponer que las 6-aminocarbolinas y las 6 acetamidocarbolinas podrían ser utilizados como afrodisiacos masculinos.

Palabras clave: afrodisiacos, análogos de melatonina, anafrodisiaco, conducta sexual masculina, melatonina

Abstract

The adult male rat sexual behaviour is constituted for motivational or appetitive and consummatory aspects. In the present work we report the effects of an acute administration of 1mg/Kg of melatonin and two of their analogs: 6-amino-1-oxo-1,2,3,4-tetrahydro- β -carboline (6-aminocarboline), and 6-acetamido-1-oxo-1,2,3,4-tetrahydro- β -carboline (6-acetamidocarboline) to male adult rats on their modification of the components of male sexual behaviour: The melatonin analogs have aphrodisiac effect, which means that facilitate the sexual behaviour expression meanwhile, the melatonin have an inhibitory or anaphrodisiac effect. The melatonin inhibits the motivational aspect, inducing a significant increase of the post ejaculatory refractory period with respect to their two analogs and the control. Both, the 6-acetamidocarboline and the 6-aminocarboline extend the sexual behaviour motivational aspect, significantly diminishing the latency for the first mount and for the intromission, the post ejaculatory refractory period and increasing the number of responding animals. The 6-aminocarboline is the more effective of the two tested analogs since it significantly diminished the post ejaculatory refractory period and increases the number of copulatory animals. On the other side, we did not find any statistically significant difference between the two analogs with respect to the latency parameters for the first mount and intromission. In relation to the sexual consummation, the 6-aminocarboline significantly reduced the mount frequency, followed for the 6-acetamidocarboline and for the melatonin, the intromission frequency is equally augmented by the two analogs and diminished by the melatonin. With respect to the ejaculatory frequency, the two analogs elevate it, again, being the 6-aminocarboline the most effective and the melatonin declining it parameter. With respect to the ejaculatory latency, the melatonin increased it and their two analogs decreased it and inducing copulatory efficiency. According to the obtained data in this experiment, we propose that the 6-aminocarbolines and the 6-acetamidocarbolines could both be utilized as masculine aphrodisiacs.

Key words: aphrodisiacs, anaphrodisiac, melatonin, melatonin analogs, male sexual behaviour

Introducción

La fisiología reproductiva en los mamíferos parece estar bajo el control de la glándula pineal y su hormona la melatonina^{18,21}. Esta hormona ejerce una influencia muy marcada sobre la conducta sexual, la administración crónica de melatonina inhibe la conducta sexual en machos²² y hembras⁷. Por otra parte, la administración de melatonina tiene un efecto inhibitorio en la amígdala, el hipotálamo, área septal y corteza látero-posterior (occipital), estructuras nerviosas implicadas en la regulación de la fisiología reproductiva de la rata⁸. El efecto inhibitorio de la glándula pineal sobre el eje neuroendocrino reproductivo depende aparentemente del incremento nocturno del pico de melatonina⁹, de la edad a la que se administra la hormona¹¹ y del estado hormonal del sujeto¹⁴. La melatonina aparente-mente también participa en la sincronización del eje neuroendocrino reproductivo¹⁰.

La conducta sexual copulatoria de la rata macho adulta normal, es caracterizada por una serie alternante de montas e intromisiones que culminan en la eyaculación.

La expresión de esta conducta requiere de la presencia de hormonas esteroides gonadales, cuyo mecanismo de acción para modular la conducta sexual copulatoria no está completamente conocido, el sistema serotoninérgico que originalmente fue propuesto por Malmnäs y Meyerson¹⁶ en 1971 exclusivamente como un sistema inhibitorio de esta función reproductiva masculina. Recientemente, después del descubrimiento de las diferentes subclases de receptores para serotonina (5HT), el concepto general de la función inhibitoria de la serotonina ha sido modificada^{4, 17}. Específicamente, dos subclases de estos receptores los 5HT_{1A} y los 5HT₂ parecen tener una importancia crítica, ejerciendo una función opuesta sobre la conducta sexual masculina de la rata macho, la estimulación de los receptores 5HT_{1A} facilita el aspecto consumatorio de la conducta, es decir facilita la eyaculación², mientras que la estimulación de los receptores 5HT₂ la inhibe¹⁵. Sin embargo no se han realizado estudios de análogos de melatonina sobre la modulación de la conducta reproductiva.

En el presente trabajo decidimos comparar el efecto de la melatonina y dos de sus análogos la 6-amino-1-oxo-1,2,3,4-tetrahydro-β-carbolina (6-aminocarbolina), y 6-acetamido-1-oxo-1,2,3,4-tetrahydro-β-carbolina (6-acetamidocarbolina) sobre el aumento (afrodisiaco) o disminución (anafrodisiaco) de la expresión de la conducta sexual masculina de la rata macho adulta.

Material y Método

Para este experimento utilizamos ratas macho adultas de la cepa Wistar de un peso entre 300 y 350 gramos mantenidos en condiciones de bioterio a temperatura constante de 21°C y alimentadas con purina para roedor y agua a libre demanda. Dos semanas antes del experimento los animales fueron colocados en un cuarto con ciclo de luz-oscuridad invertida (12 x 12 h, la luz se prendía a las 20 h). La conducta sexual de las ratas fue evaluada cuatro veces con un intervalo de una semana. Una hora antes del experimento los animales (N = 8 por grupo) fueron inyectados con: solución salina fisiológica (grupo control), melatonina (N-acetil-5-metoxitriptamina), 6-aminocarbolina y 6-acetamidocarbolina. Después de este tiempo, los machos fueron sometidos a

una prueba de conducta sexual en presencia de ratas hembras receptoras durante la fase de oscuridad, 4 horas después de apagadas las luces bajo luz roja tenue.

Para conocer con mayor precisión los efectos de los fármacos sobre el comportamiento sexual, se les midió a cada animal el aspecto apetitivo de la conducta sexual masculina a través de los parámetros: latencia para la primera monta (LM), latencia de intromisión (LI) y periodo refractario posteyaculatorio (PRPE), así como el aspecto consumatorio de esta conducta con los parámetros: frecuencia de monta (FM), frecuencia de intromisión (FI), latencia de eyaculación (LE) y la eficiencia copulatoria (EC) de acuerdo a la siguiente fórmula: número de intromisiones entre el número de intromisiones más montas.

En este estudio la latencia de monta o intromisión fue el tiempo transcurrido desde la introducción de la hembra a la caja del macho hasta la primera monta sin intromisión del pene; o monta con intromisión del pene respectivamente.

El PRPE fue el tiempo transcurrido desde la eyaculación hasta la siguiente intromisión.

Latencia de eyaculación fue el tiempo transcurrido desde la primera intromisión hasta la primera eyaculación.

Frecuencia de montas e intromisiones fue el número de montas o intromisiones en las series.

Frecuencia de eyaculación el número total de eyaculaciones durante treinta minutos de observación.

El tiempo total de observación del comportamiento sexual masculino que fue de treinta minutos (1800s). A los animales que no respondieron se les asignó un tiempo de latencia de 1800s y no fueron considerados para el análisis estadístico. Para la prueba se utilizaron ratas hembras ovariectomizadas y sexualmente receptoras por la administración subcutánea de 20 µg de benzoato de estradiol disuelto en una décima de aceite de cártamo seguido cuarenta y cuatro horas después de una inyección subcutánea de 2 mg de progesterona.

La inyección de la melatonina y sus análogos fue en una dosis de 1mg/kg de peso y administradas intraperitonealmente (i.p) en un volumen de 0.5 mL. Los animales control recibieron una inyección de solución salina con el mismo procedimiento y volumen.

Fármacos: la progesterona (Δ4-pregnan-3, 20 diona), el estradiol (17β estradiol 3-benzoato y la melatonina (N acetil-5-metoxitriptamina) fueron obtenidos de Sigma Chemical Co. St.Louis Ms USA y los análogos 6-aminocarbolina y 6-acetamidocarbolina fueron sintetizados en nuestro laboratorio por el método de Abramovitch y Shapiro con algunas variaciones¹.

El análisis estadístico de los resultados se realizó utilizando la prueba de análisis de varianza de una vía (ANOVA). Considerando una p de 0.05 o menor como indicador de diferencia estadística significativa²⁰.

Resultados

Como se muestra en las Tablas I y II, la administración aguda de melatonina y dos de sus análogos, 6-aminocarbolina y 6-acetamidocarbolina, a ratas machos adultas modifica los aspectos motivacional y consumatorio de la conducta sexual masculina.

En la Tabla I, se muestra el efecto inhibitorio de la melatonina sobre el aspecto motivacional, induciendo un aumento estadística-

Tabla I: Efecto de la administración aguda de los análogos de melatonina sobre el aspecto apetitivo del comportamiento sexual de la rata macho adulta comparados con melatonina y vehículo

	Control	Melatonina	6-acetamido carbolina	6-amino carbolina
Sujetos que respondieron	6/8	6/8	7/8	8/8
LM	32.50±10.83a	32.67±18.45a	18.57±3.46b	18.37±4.10b
LI	32.50±10.83c	32.67±18.45c	20.00±5.57d	20.20±2.77d
PRPE	299.08±68.76e	349.70±53.40f	317.00±17.10g	294.00±61.67e

Los números expresan el promedio y la desviación estándar del tiempo en segundos de los diferentes experimentos. Las letras expresan las diferencias estadísticas calculadas por la prueba de ANOVA. $p < 0.05$ ó menor.

estadísticamente significativo en el PRPE comparado con el control y sus dos análogos probados. La 6-aminocarbolina y la 6-acetamidocarbolina, inducen un incremento del aspecto motivacional de la conducta sexual, disminuyendo en forma estadísticamente significativa la LM, LI, el PRPE y aumentando el número de animales que responden, comparado con el grupo control y con el grupo tratado con melatonina. De los análogos la 6-aminocarbolina fue el fármaco más efectivo para modificar el PRPE e incrementar el número de animales que responden, en

cambio no existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos análogos en los parámetros LM y LI.

En la Tabla II se muestran los efectos de la melatonina y dos de sus análogos sobre la consumación sexual masculina de la rata. Como puede observarse, la FM está disminuida en forma estadísticamente significativa por la 6-aminocarbolina, seguida de la 6-acetamidocarbolina y la melatonina, la FI está igualmente aumentada por la 6-aminocarbolina y la 6-acetamidocarbolina y disminuida por la melatonina.

Tabla II: Efecto de administración aguda los análogos de melatonina sobre la consumación del comportamiento sexual de la rata macho adulta comparados con melatonina y vehículo

	Control	Melatonina	6-acetamido carbolina	6-amino carbolina
Sujetos que respondieron	6/8	6/8	7/8	8/8
FM	13.83±4.35a	11.67±7.73b	6.71±3.65c	5.00±3.22c
FI	22.00±2.54d	18.40±2.97e	22.36±4.72f	23.42±5.73f
FE	2.00±0.28g	1.66±0.34h	2.75±0.90g	3.83±0.47k
LE	542.00±94.00n	577.60±54.67n	427.28±30.37p	275.75±10.73q
EC	0.582s	0.575s	0.751t	0.833w

Los números expresan el promedio y la desviación estándar del tiempo en segundos de los diferentes experimentos. Las letras expresan las diferencias estadísticas calculadas por la prueba de ANOVA. $p < 0.05$ ó menor

Los análogos probados aumentan la frecuencia de eyaculación (FE), siendo la 6-aminocarbolina el más efectivo, en cambio la melatonina disminuye este parámetro en comparación con el control y los análogos.

En cuanto a la LE los análogos la disminuyen y la melatonina la aumenta.

Finalmente en cuanto a los fármacos probados los análogos mostraron una mayor inducción de la eficiencia copulatoria.

Discusión

Estos resultados indican claramente que la 6-aminocarbolina y la 6-acetamidocarbolina, análogos de la melatonina, son compuestos que funcionan como afrodisiacos, ya que aumentan la eficiencia copulatoria de los machos tratados y en forma general facilitan la consumación e incrementan el aspecto motivacional de la conducta reproductiva de esta especie de roedores.

En cambio la administración aguda de 1mg/kg de melatonina inhibe tanto el aspecto motivacional como el aspecto consumatorio de la conducta sexual masculina, siendo el aspecto

consumatorio el más afectado, ya que afecta a todos los parámetros de este aspecto, mientras que solo afecta al PRPE del aspecto motivacional. Este efecto diferencial de la melatonina sobre los aspectos motivacional y consumatorio de la conducta sexual podría deberse posiblemente, a que la melatonina dependiendo de sus concentraciones y del tiempo de administración actúa en diferentes centros cerebrales y diferentes receptores que median la acción de neurotransmisores, ya que se sabe que receptores dopaminérgicos y serotoninérgicos mesolímbicos median el deseo o aspecto motivacional, mientras que los receptores dopaminérgicos y serotoninérgicos mesoestriados el componente consumatorio o culminatorio de la conducta sexual¹⁹, además de que la melatonina administrada en forma aguda disminuye la liberación de serotonina en la áreas responsables de la conducta sexual^{6, 8} e igual que algunos antidepresivos actúa como un antagonista 5HT_{2A} en estas zonas cerebrales¹³, sin embargo, sorprendentemente dosis agudas pequeñas de esta hormona estimulan la conducta sexual en la rata¹².

Finalmente la actividad inhibitoria de la administración aguda de melatonina sobre la conducta sexual y particularmente sobre el aspecto consumatorio, podría estar relacionada con su actividad anticalmodulina o con la actividad antifosfodiesterasa dependiente de calmodulina³, ya que se ha propuesto que las hormonas esteroides para inducir conducta sexual lo hacen a través de este sistema⁵.

Con respecto al efecto afrodisiaco de los análogos 6-aminocarbolina y 6-acetamidocarbolina, nuestros resultados podrían también tomarse como una primera indicación de localización preferencial de la acción de estos fármacos, o que receptores diferentes a los de melatonina estuvieran mediando su efecto, siendo probablemente vía receptores 5HT_{1A} que median la actividad copulatoria¹⁵. Es posible proponer también que los análogos estuvieran interviniendo en una serie de mecanismos de participación del sistema calcio-calmodulina, tales como inducción de la fosforilación de los factores de la síntesis de proteínas o sobre factores de transducción celular, sin embargo consideramos conveniente y necesario realizar otros experimentos que nos permitan dilucidar los mecanismos mediante los cuales los análogos de la melatonina actúan como sustancias afrodisíacas.

Referencias bibliográficas

- Abramovitch RA, Shapiro D. Tryptamines, Carbolines, and Related Compounds. Part III. 1-Methyl- and 1:N-Dimethyl-tryptamines. *D J Chem Soc* 1956; 4589-92.
- Ahlenius S, Larsson K. Antagonism by pindol, but not betaxolol, of 8-OH-DPAT-induced facilitation of male rat sexual behavior. *J Neural Transm* 1988; **77**: 163-170.
- Benítez-King G, Ríos A, Martínez A, Anton-Tay F. In vitro inhibition of Ca₂/calmodulin-dependent kinase II activity by melatonin. *Bioch Biophys Acta* 1996; **1290**: 192-196.
- Brotto LA, Gorzalka BB. Melatonin enhances sexual behavior in the male rat. *Physiol Behav* 2000; **68**: 483-486.
- Canchola E, Rodríguez-Medina MA, Dueñas-Tentori H, Mercado E, Rosado A. Ca₂/ Calmodulin system: Participation in the Progesterone-induced facilitation of lordosis behavior in the ovariectomized estrogen-primed rats. *Pharmacol Biochem Behav* 1996; **54**: 403-407.
- Chuang J, Lin MT. Pharmacological effects of melatonin treatment on both locomotor activity and brain serotonin release in rats. *J Pineal Res* 1994; **17**: 11-16.
- De Cantazaro D, Stein M. Suppression of the lordosis reflex in female rats by chronic central melatonin implants. *Horm Behav* 1984; **18**: 216-223.
- Díaz López B, Fernández BM. Response to melatonin in brain areas implicated in the sexual cycle of the rat. *Brain Res* 1984; **296**: 333-338.
- Díaz López B, Urquijo C, Menéndez-Abraham E, Fernández BM. Effect of the lack of melatonin signal on the O₂ uptake in sexual nervous structures in males rats. *Indian J Med Res* 1993; **98**: 253-257.
- Díaz López B, Rodríguez ED, Urquijo C, Alvarez CF. Melatonin influences on the neuroendocrine-reproductive axis. *Ann N Y Acad Sci* 2005; **1057**: 337-364.
- Díaz Rodríguez E, Díaz López B, Debeljuk L, Esquifino Parras AI, Arce Fraguas A, Marín Fernández B. Developmental changes of hypothalamic, pituitary and striatal tachykinins in response to testosterone: influence of prenatal melatonin. *Peptides* 1999; **20**: 501-508.
- Drago F, Busa L, Benelli A, Bertolini A. Acute low doses of melatonin stimulate rat sex behavior: the role of serotonin neurotransmission. *Eur J Pharmacol* 1999; **385**: 1-6.
- Eison AS, Freeman RP, Guss VB, Mullins UL, Wright RN. Melatonin agonists modulate 5-HT_{2A} receptor-mediated neurotransmission: behavioral and biochemical studies in the rat. *J Pharmacol Exp Ther* 1995; **273**: 304-308.
- Fernández Alvarez C, Díaz Rodríguez E, Pazo Vinuesa D, Esquifino Parras A, Marín Fernández B, Díaz López B. In vitro pituitary responsiveness to LHRH in young and old female rats. Influence of melatonin. *Mech Ageing Dev* 1999; **112**: 75-83.
- Klint T, Dahlgren IL, Larsson K. The selective 5-HT₂ receptor antagonist amperozide attenuates 1-(2,5-dimethoxy-4-iodophenyl)-2-aminopropane-induced inhibition of male rat sexual behavior. *Eur J Pharmacol* 1992; **212**: 241-246.
- Malmnäs CO, Meyerson BJ. ρ -Chlorophenylalanine and copulatory behavior in the male rat. *Nature* 1971; **232**: 398-400.
- Mendelson SD, Gorzalka BB. Serotonin antagonist pirenperone inhibits sexual behavior in the male rat: attenuation by quipazine. *Pharmacol Biochem Behav* 1985; **22**: 565-571.
- Meyer BJ, Theron JJ. The pineal gland organ in man. An endocrin gland awaiting recognition. *S Afr Med J* 1988; **73**: 300-302.
- Pfaus JG, Phillips AG. Differential effects of dopamine receptor antagonists on the sexual behavior of male rats. *Psychopharmacology* 1989; **98**: 363-368.
- Rohlf JF, Sokal RR. Statistical Tables. State University of New York at Stony Brook. W. H. Freeman. San Francisco. 1978
- Tijmes M, Fedraza R, Valladares L. Melatonin in the testis: evidence of local synthesis. *Steroids* 1996; **61**: 65-68.
- Yamada K, Mayurama K, Mogami S, Miyagawa N, Tsuboi M. Influence of melatonin on reproductive behavior in male rats. *Chem Pharm Bull (tokyo)* 1992; **40**: 2222-2223.

**Anatomía de un reloj
(anatomía del sistema circadiano)**

Manuel Ángeles-Castellanos, Katia Rodríguez,
Roberto Salgado-Delgado, Carolina Escobar
Departamento de Anatomía,
Facultad de Medicina.
Universidad Nacional Autónoma de México,
México DF 04510, México.

Título corto:
Anatomía del sistema circadiano

Correspondencia:
Manuel Ángeles Castellanos
Departamento de Anatomía
Edificio B 4° Piso
Facultad de Medicina UNAM
México DF 04510,
Teléfono: (55) 56-23-24-22
E-mail: atatu3@hotmail.com

Resumen

Todos los organismos incluyendo el ser humano han desarrollado un sistema para la medición del tiempo. Esta capacidad permite adaptarse a fenómenos ambientales que se repiten en forma regular constante. A este sistema se le conoce como sistema circadiano. Actualmente se sabe que el sistema circadiano se encuentra constituido por tres componentes esenciales: las vías de entrada de información, los mecanismos del reloj y las vías de salida para la transmisión de ritmicidad a otras partes del cuerpo. Las vías que proporcionan señales del ambiente para mantener sincronizado al sistema a los ciclos externos. De estas señales la más poderosa es la alternancia luz/oscuridad. Esta vía de entrada de información incluye a la retina así como al tracto retinohipotalámico. El reloj, identificado en el núcleo supraquiasmático del hipotálamo, genera los ritmos aún en condiciones en que no recibe señales ambientales del tiempo. Se ubica en el hipotálamo anterior y establece contactos con otros núcleos hipotalámicos asociados a mantener la homeostasis interna. Por último, las vías eferentes o de salida se encargan de acoplar al reloj con otros sistemas efectores. Para esta función se considera principalmente participaciones del sistema nervioso autónomo y del sistema endocrino. Debido a que en años recientes se ha demostrado que diversos tejidos viscerales pueden oscilar independientemente, se ha considerado a estos órganos periféricos como parte del sistema circadiano, lo que lo convierte en un sistema multiestructural y redundante.

Palabras clave: núcleo supraquiasmático, hipotálamo, ritmos biológicos

Abstract

All living organisms, including the human being, have developed systems to measure and estimate time. This property allows them to adapt to cyclic phenomena in our environment that are present in regular cycles. This time keeping system is known as the circadian system. It is well known that the circadian system is constituted by 3 elements: entraining pathways which enter information, the mechanisms of the clock and output pathways that transmit rhythmic signals to the rest of the body. Input pathways provide time signals from the environment in order to maintain the circadian system coupled to external cycles. The main entraining signal is the light-dark cycle. The anatomical substrate for this pathway is the retina and the retinohypothalamic tract. The clock mechanisms have been identified in the suprachiasmatic nucleus of the hypothalamus it generates circadian rhythms, even when external signals are absent. This structure is located in the anterior hypothalamus and has projections to other hypothalamic nuclei involve with homeostatic functions. The output pathways keep the clock coupled to other organs. This function is accomplished via de autonomic and the endocrine systems. Because in recent years it has been shown that visceral organs can oscillate independently, peripheral tissues are now acknowledged as part of the circadian system, which is now a multistructural and redundant system.

Key words: suprachiasmatic nucleus, hypothalamus, biological rhythm.

¿Por qué medir el tiempo?

Los organismos cubrimos diariamente una serie de funciones para sobrevivir. Ninguna de dichas funciones depende de un solo órgano, más bien cada respuesta o función requiere de la interacción de varios órganos que forman sistemas. Estos sistemas además de estar constituidos por estructuras especializadas, cuentan con vías para la entrada y vías para la salida de información, de manera que los organismos son el conjunto de complejas redes funcionales, las cuales tratamos de comprender primeramente por medio de la anatomía, y que nos permite conocer su localización, forma y relaciones.

Entre las múltiples funciones que realizamos diariamente se incluye la necesidad de mantener un orden temporal. Esto es, realizar todas nuestras funciones en congruencia con los cambios diarios asociados al tiempo. Durante un ciclo de 24 horas debemos enfrentar cambios asociados al día y la noche y por lo tanto a la luz y la oscuridad, también enfrentamos oscilaciones en la temperatura ambiental, en la humedad, los sonidos provenientes de otros organismos, etc. Estos ciclos diarios le imponen a todo individuo un reto adaptativo que requiere se exhiban óptimas respuestas en concordancia con los tiempos ambientales. Es más, para una buena adaptación se requiere poder anticiparse a estos ciclos diarios, que son predecibles. En consecuencia cada individuo muestra ciclos en su conducta y fisiología, que resultan obvios en la alternancia de intervalos de actividad y sueño. Internamente se presentan oscilaciones conocidas como ritmos circadianos, que se caracterizan por presentarse aproximadamente cada 24 horas. Por ejemplo, es posible observar picos de liberación hormonal y de funciones metabólicas a ciertas horas del día, seguidos de disminución en los niveles a otras horas. Por medio de estas fluctuaciones se logran manifestar respuestas óptimas en momentos en que las circunstancias ambientales más lo requieren y por medio de estos ritmos se logra una estrategia adaptativa esencial para un medio ambiente cambiante.

Para lograr estas adaptaciones temporales todo organismo cuenta con un sistema circadiano, el cual está especializado en la medición del tiempo y en transmitir estas señales a los diversos sistemas funcionales.

Se reconoce actualmente que el sistema circadiano se encuentra constituido por 3 componentes esenciales.

- Una vía de sincronización.
- El reloj propiamente
- Vías eferentes que acoplan el reloj a sistemas efectores que expresan las funciones circadianas o ritmos.

La anatomía del reloj

(Descubrimiento del NSQ, en donde está y como funciona)

Con la hipótesis de que podía existir una región en el cerebro que funcionara como reloj biológico involucrado con la manifestación de los ritmos circadianos, Carl Richter en 1967 realizó estudios con ratas lesionando la parte anterior del hipotálamo, y demostró que se perdía la expresión rítmica de la conducta locomotora, lo cual lo llevó a la conclusión de que existían regiones hipotálamicas probablemente responsables de la ritmicidad circadiana²⁴. Pero no fue sino hasta la década de los 70's cuando se realizaron estudios con trazadores de vías neuronales, que demostraron la existencia de una comunicación directa de la vía visual al hipotálamo y que fue denominada tracto retino hipotálamico (TRH) con terminaciones específicamente en el

Núcleo Supraquiasmático (NSQ)^{9, 15}. Las lesiones de este NSQ provocaron pérdida del ritmo de concentración plasmática de corticosterona y pérdida de los ritmos de conducta^{16, 28} corroborando que este NSQ funciona como marcapasos interno.

El NSQ es un núcleo par localizado en la región antero-ventral del hipotálamo inmediatamente arriba del quiasma óptico, lateral a la base del tercer ventrículo, se sitúa por debajo de la zona subpraventricular, por detrás del área preóptica medial, por delante de la retroquiasmática, y lateralmente se relaciona con la zona lateral anterior hipotalámica (Fig. 1).

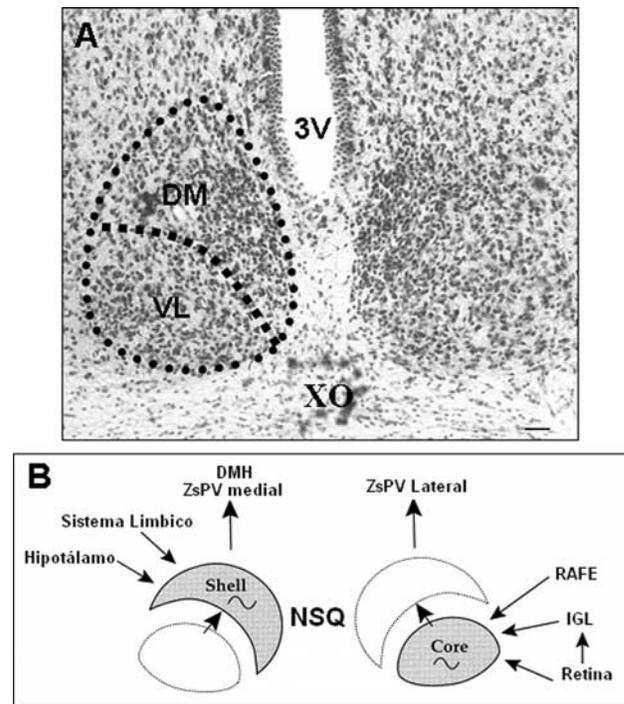


Fig. 1. Morfología del núcleo supraquiasmático de rata. A) Micrografía (10X) de un corte coronal del hipotálamo anterior, zona en donde se muestra el NSQ en tinción de Nissl. La barra = 100µm. B) se muestran en un esquema las divisiones del NSQ así como las vías aferentes y eferentes más importantes. DM, Dorsomedial; VL, Ventrolateral; 3V, Tercer ventrículo; XO, quiasma óptico; DMH, núcleo dorsomedial hipotalámico; ZsPV, zona subpraventricular; IGL, Hojuela intergeniculada lateral

Morfología y organización del NSQ

Los estudios morfológicos del NSQ se han realizado especialmente en roedores. En la rata el NSQ contiene alrededor de 8000 neuronas de cada lado, con un diámetro aproximado de 8-12µm. Muestra una relativa expansión dendrítica dentro del mismo núcleo, las neuronas de la porción ventrolateral o zona retino receptiva, son mucho más extensas que en la porción dorsomedial³¹.

El NSQ tiene forma ovoide y tradicionalmente se ha dividido en dos zonas y desde el punto de vista anatómico se puede considerar una región ventrolateral (Core) y una región dorsomedial (Shell). La región ventrolateral descansa sobre el quiasma óptico y es retino-receptiva, es decir, recibe la información luminosa proveniente de las células ganglionares tipo W de la retina a través del TRH. En cambio la zona dorsal se ha asociado más a funciones integrativas, entre ellas la generación y transmisión del ritmo hacia el resto del cerebro.

Por otra parte, el NSQ también se ha subdividido en regiones específicas de acuerdo a sus características neuroquímicas. Podemos decir que todas o casi todas las neuronas del NSQ contienen ácido γ -aminobutírico (GABA) ^{1, 19}. Sin embargo, existen regiones caracterizadas por la producción de un neuropéptido específico, un ejemplo es la vasopresina (VP), que fue el primer péptido anatómicamente descrito en neuronas de la región dorsomedial del NSQ ³⁰; también se han descrito neuronas productoras del péptido vasoactivo intestinal (VIP), segundo péptido identificado en el NSQ, específicamente en la región ventrolateral ²⁵ (Fig. 1). Actualmente se sabe de otros grupos celulares que expresan otros péptidos, entre ellos encefalinas, sustancia P ^{20, 27}. Por esta razón existe controversia sobre las diversas formas en las que el NSQ debe ser dividido, sobretodo por la utilización de nuevas técnicas morfo-funcionales y moleculares, tal es así que en el hámster se han identificado hasta cinco diferentes áreas de acuerdo a la expresión de neuropéptidos y otras más por la caracterización de expresión rítmica de genes reloj ⁴. Sin embargo, la primera descripción que hemos dado es aplicable para todos los mamíferos incluyendo al ser humano.

Organización Funcional del NSQ

Las neuronas del NSQ mantienen una extensa conexión con otras neuronas del mismo núcleo, de tal manera que este núcleo es una red de conexiones que comprende unidades neuronales interconectadas. Esta red muestra un ritmo circadiano en el ritmo de disparo neuronal y del consumo de glucosa con su pico máximo, llamado también acrofase, durante la fase de luz o día subjetivo ²⁷. La pregunta es entonces ¿el ritmo de actividad neuronal en el NSQ se genera como una consecuencia del acoplamiento de neuronas con capacidad de oscilaciones individuales? o ¿es una propiedad emergente de la interacción neuronal? Se ha podido demostrar que las neuronas del NSQ disgregadas muestran un ritmo de actividad eléctrica circadiano independiente y sólo cuando logran tocarse son capaces de acoplar sus ritmos ³². De igual forma se sabe que no todas las neuronas del NSQ son capaces de generar oscilaciones en forma auto-sostenida, es decir, no todas son osciladores, pero que participan en el sistema de acoplamiento con las que sí lo son ¹¹ (Fig. 2).

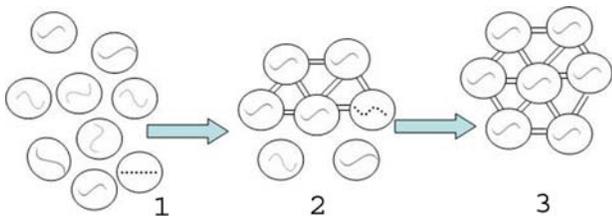


Fig. 2. Modelo que ejemplifica las neuronas del núcleo supraquiasmático. 1) cada neurona por separado muestra un ritmo con periodo diferente pero cercano a 24h; 2) cuando entran en contacto se acoplan y forman un solo ritmo, y 3) finalmente el grupo completo muestra un ritmo con periodo igual.

La adaptación del reloj al medio externo

(Las vías de sincronización)

La siguiente pregunta fue ¿Para qué se requiere que el NSQ para este comunicado con la retina? Para contestar esta pregunta se diseñaron experimentos con enucleación bilateral, así como el

corte de los nervios ópticos, y se pudo observar que es los animales pierden la relación de fase con el medio ambiente pero no así su ritmo. Concluyendo entonces que el NSQ es responsable de la generación de los ritmos biológicos y que a través de la información que entra por la retina se sincronizan el ciclo luz / oscuridad.

Normalmente los ritmos circadianos se encuentran sincronizados al ciclo luz / oscuridad, sin embargo en ausencia de esta señal, se manifiestan los ritmos en forma endógena, en libre curso "free run", esto quiere decir que, sin estar sincronizado el reloj a ninguna señal ambiental, es capaz de generar ritmos con un periodo aproximado de 24 horas.

Sincronización se define como el cambio o ajuste del periodo y fase del ritmo del reloj endógeno al ciclo externo de luz / oscuridad. En este contexto la vía de sincronización es fótica o visual, sin embargo, la función del reloj puede recibir influencia de una serie de variables no fóticas, que pueden también afectar el periodo y la fase del ritmo endógeno. El sistema o las vías por las cuales llega esta información externa al NSQ son consideradas como vías de sincronización.

El tracto retino hipotálamico (TRH)

El TRH está formado por el conjunto de axones que proyectan desde la retina (neuronas ganglionares tipo W) hacia el hipotálamo anterior, este tracto es independiente de la vía visual ya que existen antecedentes en los cuales se seccionó la vía visual por detrás del quiasma óptico y se encontró que los animales perdían la capacidad visual y reflejos visuales, pero no la capacidad de sincronización ¹³, indicando que la vía de sincronización es diferente a la vía visual.

La vía de sincronización fótica es el TRH, en 1972 Moore y Lenn, demostraron que el TRH proyecta al NSQ, principalmente a la división ventrolateral, por lo que también se le ha llamado zona retino-recipiente. También se pudo observar que el TRH adicionalmente proyecta al área lateral y anterior del hipotálamo, a la zona retroquiasmática es decir por detrás del quiasma óptico y a la región retroquiasmática inmediatamente caudal al NSQ ¹².

Adicionalmente, los fotorreceptores involucrados con la sincronización parecen ser diferentes a los fotorreceptores clásicos ⁷, indicando con esto que el componente retiniano del sistema circadiano es distinto de la vía visual y especializado para la función de sincronización fótica.

Hojuela Intergeniculada (IGL)

El TRH también proyecta en forma importante a la hojuela intergeniculada (IGL) del tálamo ²². La IGL es una subdivisión anatómica y funcional distinta del complejo geniculado lateral; la IGL recibe inervación en forma bilateral de la retina ¹⁸ y está constituida por una población de células productoras de neuropéptido Y (NYP) y GABA ¹⁷. Este grupo de células no proyecta a otras áreas centrales, es decir no se encuentra involucrado con los mecanismos visuales sino que proyectan de regreso en forma directa al NSQ, a la porción ventrolateral, superpuesto a las entradas de la retina, y a poblaciones neuronales que contienen encefalinas, que proyectan a la IGL contra lateral ⁶. Estas proyecciones hacia el NSQ forman el tracto geniculo-hipotálamico (TGH).

La IGL recibe proyecciones también del tallo cerebral principalmente de núcleos neuronales productores de adrenalina, serotonina y acetilcolina y del área retroquiasmática ¹⁸, se cree que las entradas que recibe la IGL del tallo cerebral y del hipotálamo constituyen para el NSQ la vía de entradas no fóticas. (Fig. 3).

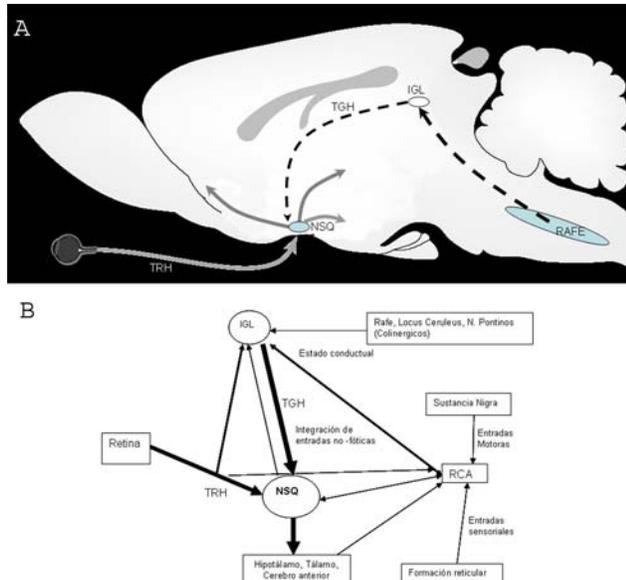


Fig. 3. Aferencias y eferencias del núcleo supraquiasmático. **A)** Esquema de un corte longitudinal del cerebro de rata donde se muestra el núcleo supraquiasmático y las principales vías de entrada de sincronización fótica a través del tracto retinohipotalámico (TRH) y no fótica por la vía del tracto geniculohipotalámico (TGH). **B)** Diagrama del tipo de señales aferentes al NSQ y su relación funcional con otras áreas del sistema nervioso central. IGL: Hojuela intergeniculada lateral; RCA: área retroquiasmática.

Las manecillas del reloj

(Las vías de salida)

Como lo mencionamos anteriormente, una de las partes del sistema circadiano son las vías de salida o eferentes, ya que es a través de estas como se manifiesta el reloj, es decir se expresan los ritmos. Para ello, el NSQ necesita de otras estructuras para poder transmitir su ritmicidad a todo el organismo. Por lo mismo, las células del NSQ proyectan hacia diversas zonas del hipotálamo de donde se inicia la distribución de su señal. Por ejemplo, el núcleo paraventricular hipotalámico (PVN) controla la ritmicidad circádica de la actividad del eje adrenocorticotrópico, así como el control del ritmo de la hormona melatonina en la glándula pineal a través de proyecciones hacia el sistema nervioso autónomo ⁵. Otro ejemplo son las salidas a través del núcleo dorsomedial hipotalámico (DMH), el cual mantiene el control circadiano del ciclo sueño vigilia y de alimentación por su acción en el sistema orexigénico en el hipotálamo lateral ^{2, 8}. Sin embargo unas de las eferencias de mayor densidad son la zona subparaventricular, así mismo el área preóptica y el núcleo ventromedial (VMH) en el hipotálamo. Otras eferencias del NSQ hacia afuera del hipotálamo son hacia núcleos como el paraventricular talámico (PVT) ²¹, así como hacia el núcleo del lecho de la estría terminalis (BNST) ³ sitios neuronales que son determinantes en el control circadiano principalmente del ciclo sueño-vigilia ¹⁴. Por otra parte se ha mencionado la importancia del sistema nervioso autónomo como las vías de salida el reloj hacia los tejidos periféricos, a través del cual

este sistema mantiene oscilando acoplados a todos los órganos periféricos ⁵.

Relojes en todos el organismo

(Osciladores periféricos, todos los órganos oscilan)

Todas las evidencias hasta el momento indican que el NSQ es el reloj principal, responsable de generar el ritmo circadiano. Sin embargo, recientemente se han encontrado mecanismos de oscilación similares a las del NSQ en otros órganos y otras zonas cerebrales, lo que sugiere la existencia de otros relojes u osciladores circadianos en el mamífero. En particular se ha descrito la expresión de oscilaciones de genes reloj, en el hígado, en el corazón y en estructuras del mismo sistema nervioso que expresan oscilaciones circadianas de estos genes en fase con el NSQ ^{9, 29, 33, 34}. Su función podría ser la de modular funciones a nivel local, por ejemplo, los ritmos de sensibilidad visual en células de la retina (conos y bastones) que parecen estar generados por un reloj intrínseco retiniano ²³. Estas oscilaciones pueden propiciar la participación del resto del organismo en la manifestación de los ritmos circadianos, de tal manera que se han identificado órganos periféricos que presentan oscilaciones asociadas a muchas variables fisiológicas tales como el ritmo de consumo de glucosa (Fig. 4).

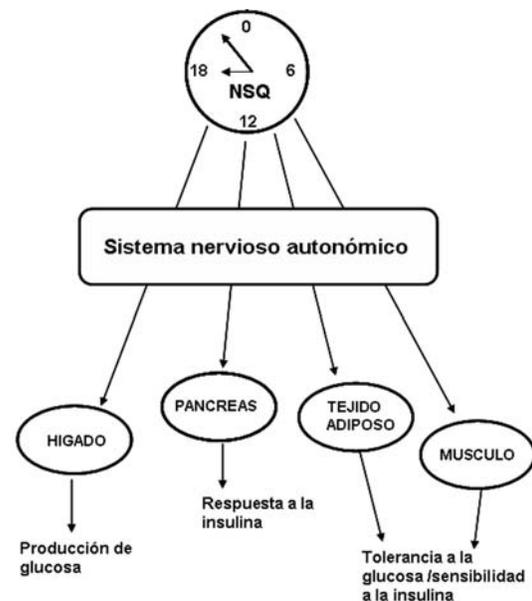


Fig. 4. Modelo esquemático del sistema de transmisión de ritmicidad al resto del organismo, en donde se observa el NSQ como el reloj principal y que a través del sistema nervioso autónomo transmite su ritmicidad a los tejidos periféricos (modificado de La Fleur et al 2003).

Conclusion: el sistema circadiano es un sistema distribuido

Por lo antes planteado, podemos mencionar que el sistema circadiano es un sistema multi-oscilatorio, para el cual el NSQ es el marcapasos principal (reloj circadiano), transmitiendo el tiempo y manteniendo la congruencia temporal con el medio externo de una gran cantidad de osciladores periféricos tanto en el sistema nervioso, como en el resto del organismo. Este sistema hace referencia imaginaria a una orquesta donde el director (NSQ) lleva y marca el ritmo de una melodía, y los músicos (osciladores periféricos) se encuentran acoplados al compás marcado por el

director. De esta manera, es posible explicar de forma simple la desincronización interna, la falta del director por enfermedad o muerte (lesión del NSQ), produce un estado arrítmico en el cual cada uno de los osciladores periféricos oscila con su propio ritmo. Agradecimientos: a los proyectos CONACYT M43950 y DGAPA-PAPIIT IN 203907

Referencias bibliográficas

1. Abrahamson EE, Moore RY. Suprachiasmatic nucleus in the mouse: retinal innervation, intrinsic organization and efferent projections. *Brain Res* 2001; **916**: 172-191.
2. Abrahamson EE, Leak RK, Moore RY. The suprachiasmatic nucleus projects to posterior hypothalamic arousal systems. *Neuroreport* 2001; **12**: 435-440.
3. Amir S, Waddington E, Robinson B, Stewart J. A circadian rhythm in the expression of PERIOD2 protein reveals a novel SCN-controlled oscillator in the oval nucleus of the bed nucleus of the stria terminalis. *Neuroscience* 2004; **24**: 781-790.
4. Antle MC, Silver R. Orchestrating time: arrangements of the brain circadian clock. *Trends in Neurosciences* 2005; **28**: 145-151.
5. Buijs RM, Kalsbeek A. Hypothalamic integration of central and peripheral clocks. *Nat Rev Neurosci* 2001; **7**: 521-526.
6. Card JP, Moore RY. Organization of lateral geniculate-hypothalamic connections in the rat. *J Comp Neurol* 1989; **284**: 135-147.
7. Card JP, Whealy ME, Robbins AK, Moore RY, Enquist LW. Two alpha-herpesvirus strains are transported differentially in the rodent visual system. *Neuron* 1991; **6**: 957-969.
8. Chou TC, Scammell TE, Gooley JJ, Gaus SE, Saper CB, Lu J. Critical role of dorsomedial hypothalamic nucleus in a wide range of behavioral circadian rhythms. *J Neurosci* 2003; **23**: 10691-10702.
9. Hara R, Wan K, Wakamatsu H, Aida R, Moriya T, Akiyama M, Shibata S. Restricted feeding entrains liver clock without participation of the suprachiasmatic nucleus. *Genes Cells* 2001; **6**: 269-278.
10. Hendrickson A, Moe L, Noble B. Staining for autoradiography of the central nervous system. *Stain Technol* 1972; **47**: 283-290.
11. Jobst EE, Allen CN. Calbindin neurons in the hamster suprachiasmatic nucleus do not exhibit a circadian variation in spontaneous firing rate. *Eur J Neurosci* 2002; **16**: 2469-2474.
12. Johnson RF, Morin LP, Moore RY. Retinohypothalamic projections in the hamster and rat demonstrated using cholera toxin. *Brain Res* 1988; **462**: 301-312.
13. Klein DC, Moore RY. Pineal N-acetyltransferase and hydroxyindole-O-methyltransferase: control by the retinohypothalamic tract and the suprachiasmatic nucleus. *Brain Res* 1979; **174**: 245-262.
14. Leak RK, Moore RY. Topographic organization of suprachiasmatic nucleus projection neurons. *J Comp Neurol* 2001; **433**: 312-334.
15. Moore RY, Lenn NJ. A retinohypothalamic projection in the rat. *J Comp Neurol* 1972; **146**: 1-14.
16. Moore RY, Eichler VB. Loss of a circadian adrenal corticosterone rhythm following suprachiasmatic lesions in the rat. *Brain Res* 1972; **42**: 201-206.
17. Moore RY, Speh JC. GABA is the principal neurotransmitter of the circadian system. *Neurosci Lett* 1993; **150**: 112-116.
18. Moore RY, Card JP. Intergeniculate leaflet: an anatomically and functionally distinct subdivision of the lateral geniculate complex. *J Comp Neurol* 1994; **344**: 403-430.
19. Moore RY, Speh JC, Card JP. The retinohypothalamic tract originates from a distinct subset of retinal ganglion cells. *J Comp Neurol* 1995; **352**: 351-366.
20. Morin LP. Serotonergic reinnervation of the hamster suprachiasmatic nucleus and intergeniculate leaflet without functional circadian rhythm recovery. *Brain Res* 1992; **599**: 98-104.
21. Novak CM, Harris JA, Smale L, Nunez AA. Suprachiasmatic nucleus projections to the paraventricular thalamic nucleus in nocturnal rats (*Rattus norvegicus*) and diurnal Nile grass rats (*Arvicantha niloticus*). *Brain Res* 2000; **874**: 147-157.
22. Pickard GE. Bifurcating axons of retinal ganglion cells terminate in the hypothalamic suprachiasmatic nucleus and the intergeniculate leaflet of the thalamus. *Neurosci Lett* 1985; **55**: 211-217.
23. Reme CE, Braschler UF, Roberts J, Dillon J. Light damage in the rat retina: effect of a radioprotective agent (WR-77913) on acute rod outer segment disk disruptions. *Photochem Photobiol* 1991; **54**: 137-142.
24. Richter CP. Sleep and activity: their relation to the 24-hour clock. *Res Publ Assoc Res Nerv Ment Dis* 1967; **45**: 8-29.
25. Samson WK, Said SI, McCann SM. Radioimmunologic localization of vasoactive intestinal polypeptide in hypothalamic and extrahypothalamic sites in the rat brain. *Neurosci Lett* 1979; **12**: 265-269.
26. Smale L, Blanchard J, Moore RY, Morin LP. Immunocytochemical characterization of the suprachiasmatic nucleus and the intergeniculate leaflet in the diurnal ground squirrel, *Spermophilus lateralis*. *Brain Res* 1991; **563**: 77-86.
27. Shibata S, Moore RY. Electrical and metabolic activity of suprachiasmatic nucleus neurons in hamster hypothalamic slices. *Brain Res* 1988; **438**: 374-378.
28. Stephan FK, Zucker I. Circadian rhythms in drinking behavior and locomotor activity of rats are eliminated by hypothalamic lesions. *Proc Natl Acad Sci* 1972; **69**: 1583-1586.
29. Stokkan KA, Yamazaki S, Tei H, Sakaki Y, Menaker M. Entrainment of the circadian clock in the liver by feeding. *Science* 2001; **291**: 490-493.
30. Vandesande F, Dierickx K. Identification of the vasopressin producing and of the oxytocin producing neurons in the hypothalamic magnocellular neurosecretory system of the rat. *Cell Tissue Res* 1975; **164**: 153-162.
31. Van den Pol AN. The hypothalamic suprachiasmatic nucleus of rat: intrinsic anatomy. *J Comp Neurol* 1980; **191**: 661-702.
32. Welsh DK, Logothetis DE, Meister M, Reppert SM. Individual neurons dissociated from rat suprachiasmatic nucleus express independently phased circadian firing rhythms. *Neuron* 1995; **14**: 697-706.
33. Yamazaki S, Numano R, Abe M, Hida A, Takahashi R, Ueda M, Block GD, Sakaki Y, Menaker M, Tei H. Resetting central and peripheral circadian oscillators in transgenic rats. *Science* 2000; **288**: 682-685.
34. Yoo SH, Yamazaki S, Lowrey PL, Shimomura K, Ko CH, Buhr ED, Slepka SM, Hong HK, Oh WJ, Yoo OJ, Menaker M, Takahashi JS. PERIOD2::LUCIFERASE real-time reporting of circadian dynamics reveals persistent circadian oscillations in mouse peripheral tissues. *Proc Natl Acad Sci* 2004; **101**: 5339-5346.

Estudio experimental del desarrollo del truncus arteriosus del corazón de embrión de pollo

Isabel García-Peláez *, Manuel Arteaga Martínez **

* Departamento de Biología Celular y Tisular;

** Departamento de Anatomía.

Facultad de Medicina UNAM.

México, D.F.

Título corto:

Desarrollo del truncus arteriosus

Correspondencia:
Dra. Isabel García-Peláez
Departamento de Biología Celular y Tisular
Facultad de Medicina UNAM
Cd. Universitaria, D.F.
CP 04510
Tel. 56-23-21-96
E-mail: igarciapelaez@yahoo.com

Resumen

Se estudió, en el embrión de pollo, el desarrollo del truncus arteriosus y su expresión anatómica en el corazón maduro, utilizando microscopía electrónica de barrido y técnicas de marcaje *in ovo*. Para los estudios de microscopía electrónica de barrido se utilizaron embriones de los estadios 16 a 30 de Hamburger y Hamilton, mientras que para los estudios de marcaje *in ovo* se emplearon embriones de los estadios 22 a 24, usando marcas de gelatina-tinta china. La microscopía electrónica de barrido evidenció en el interior del truncus arteriosus tres crestas truncales, que aparecieron en los estadios 20-21, siendo una superior, una dextroinferior y la otra sinistroyinferior; la fusión de las crestas truncales con el septum aórtico-pulmonar comenzó en el estadio 27, mientras que la fusión de las crestas conales ocurrió hasta el estadio 29; la incorporación del conus y del truncus arteriosus al segmento ventricular llevó a las crestas truncales fusionadas hasta el nivel del foramen interventricular embrionario, constituyendo su perímetro ventrocefálico. Los experimentos de marcaje mostraron que las marcas colocadas en el tercio distal del truncus arteriosus aparecieron a nivel de las válvulas aórtica y/o pulmonar (95.1%) y en la porción proximal de las grandes arterias (60.9%), y con menor frecuencia en la cresta supraventricular (26.8%); las marcas colocadas en el tercio medio-proximal del truncus arteriosus fueron encontradas a nivel de las valvas aórtica y pulmonar (89.7%) y en la cresta supraventricular (64.1%), y con menor frecuencia en la porción proximal de las grandes arterias (3.8%). Nuestros resultados nos permiten concluir que: a) el truncus arteriosus es realmente incorporado al segmento ventricular, b) las crestas truncales participan en el cierre normal del foramen interventricular embrionario, y c) el truncus arteriosus da origen a las válvulas aórtica y pulmonar, y participa en la formación de la cresta supraventricular y la porción proximal de las grandes arterias.

Palabras clave: crestas truncales; desarrollo cardiaco; embrión de pollo; microscopía electrónica de barrido; septum aórtico-pulmonar; técnicas de marcaje embrionario; truncus arteriosus

Abstract

The development of the truncus arteriosus and its anatomical manifestation in the mature heart were studied in the chick embryo, using scanning electron microscopy and *in ovo* labelling technique. In the anatomical microscopic studies embryos at stages 16 to 30 of Hamburger and Hamilton were studied with a scanning electron microscope. In the *in ovo* labelling study, embryos at stages 22 to 24 of Hamburger and Hamilton were employed, using gelatine-india ink labels. It was observed that the truncal ridges appear at stages 20-21, and they are in a superior, dextroinferior and sinistroyinferior position; the fusion of the truncal ridges with the aortico-pulmonary septum beginning at stage 27, whereas the fusion with the conal ridges takes place at stage 29; the incorporation of the conus and the truncus arteriosus into the ventricular segment carried to the fused truncal ridges up to the interventricular foramen, just at its ventrocephalic perimeter. The labelling experiment showed that the labels placed at the distal third of the truncus arteriosus were found fundamentally at the level of the aortic and/or pulmonary valves (95.1%) and the proximal portion of the great arteries (60.9%), and with less frequency into the crista supraventricularis (26.8%); labels placed at the mid-proximal third of the truncus arteriosus were found fundamentally at the level of the aortic and/or pulmonary valves (89.7%) and into the crista supraventricularis (64.1%), and less frequently in the proximal portion of the great arteries (3.8%). These results allow us to conclude that: a) The truncus arteriosus is really incorporated into the ventricular segment, b) The truncal ridges participate in the closure of the normal embryonic interventricular foramen, and c) The truncus arteriosus gives origin to the aortic and pulmonary valves, and it participates into the formation of the crista supraventricularis and proximal portion of the great arteries.

Key words: aortico-pulmonary septum; chick embryo; embryonic labelling technique; heart development; scanning electron microscopy; truncal ridges; truncus arteriosus

Introducción

El truncus arteriosus es un segmento del corazón embrionario situado en su extremo distal o arterial; proximalmente se continúa con el cono y distalmente con el saco aórtico-pulmonar (aorta ventral). Esta estructura embrionaria ha sido objeto de múltiples estudios, pero no obstante a los esfuerzos realizados hoy en día sigue siendo objeto de múltiples controversias. Algunos de los aspectos más debatidos son, sin lugar a dudas, el conocer los cambios morfológicos que ocurren durante su desarrollo y precisar las estructuras anatómicas del corazón maduro que de él se originan. Algunos autores consideran que del truncus arteriosus se van a desarrollar exclusivamente los pisos valvulares de la aorta y de la arteria pulmonar^{9,20,28,37,38}, mientras que otros investigadores aseveran que además de los pisos valvulares aórtico y pulmonar, se van a originar la porción ascendente de la aorta y el tronco principal de la arteria pulmonar^{1,2,6,15,19,34,36,40,41}. Otro punto de controversia que ha surgido en las últimas décadas es el origen del mesénquima que da origen al truncus arteriosus, ya que contrario a lo que se creía, este segmento del corazón embrionario no se origina del mesodermo de la herradura cardiogénica sino lo hace a partir de un segundo campo cardiogénico situado alrededor de la faringe primitiva^{6,8,16,22,23,46}. Por otra parte, la participación de las crestas neurales craneales en el desarrollo de esta región del corazón embrionario ha contribuido a la discusión, fundamentalmente en lo referente al territorio hasta el cual llegan estas células de origen neural⁴⁵. Por si esto fuera poco, la aplicación de las técnicas de biología molecular al estudio del desarrollo cardíaco ha aportado nuevos conocimientos sobre el control molecular del desarrollo del truncus arteriosus tales como el papel de la muerte celular fisiológica o el origen de las distintas estirpes celulares que intervienen en el desarrollo del corazón^{14,23,29,47,48}.

Todas estas discrepancias son debidas a diferentes problemas, entre los cuales podemos resaltar: 1) El considerar que el truncus arteriosus, al igual que las otras cavidades cardíacas primitivas, está presente desde las etapas precoces de formación del tubo cardíaco (etapa de tubo recto o de pre-asa); 2) Los diferentes modelos biológicos estudiados y la deducción del desarrollo normal a partir del análisis de corazones malformados; 3) Los artefactos producidos por las diferentes técnicas empleadas y la utilización, casi exclusivamente, de técnicas descriptivas; y 4) La confusión derivada de la diferente terminología empleada por los distintos autores.

En un trabajo previo pudimos determinar experimentalmente que el truncus arteriosus aparece en el embrión de pollo en el estadio 15-16 de Hamburger y Hamilton (etapa de post-asa temprana)⁸, por lo que nos pareció de interés rastrear a este segmento del corazón embrionario, desde el momento en que aparece hasta que se exprese anatómicamente en el corazón maduro, lo que nos permitiría conocer sus cambios morfológicos durante el desarrollo y las estructuras anatómicas que de él se originan. Para lograr estos objetivos se realizó un estudio morfológico y experimental del truncus arteriosus en el embrión de pollo, utilizando microscopía electrónica de barrido y técnicas de marcaje *in ovo*.

Material y Método

Con objeto de investigar los cambios morfológicos que sufre el truncus arteriosus durante su desarrollo, se estudiaron corazones de embriones de pollo utilizando microscopía

electrónica de barrido. Una vez que fueron determinados los cambios y con el propósito de identificar las estructuras anatómicas que se originan del truncus arteriosus, se realizaron experimentos de marcaje *in ovo*, utilizando marcas de gelatina-tinta china.

Se utilizaron huevos fértiles de gallina White Leghorn incubados a 37.5 ± 0.5 °C, 86-87% de humedad y volteo automático periódicamente. La edad de los embriones fue determinada de acuerdo a la clasificación de Hamburger y Hamilton¹³.

Estudios de anatomía microscópica

Con objeto de investigar los cambios morfológicos que sufre el truncus arteriosus durante su desarrollo, así como sus relaciones con otras estructuras intracardíacas, se realizaron microdisecciones del corazón de embriones de los estadios 16 a 30 (2 a 7 días de incubación), haciéndose la observación final y registro fotomicrográfico con microscopía electrónica de barrido. Se utilizaron un mínimo de ocho embriones de cada estadio. Los embriones fueron incubados en la forma antes señalada y una vez alcanzada la edad apropiada se profundieron con solución de Karnovsky, manteniéndose durante 2 horas a 4 °C; finalmente se lavaron los especímenes con solución buffer de cacodilato (0.1 M y pH 7.2) y se realizaron las microdisecciones bajo un microscopio estereoscópico binocular. Las muestras fueron post fijadas con tetraóxido de osmio al 1% en buffer de cacodilato durante 1 hora, se deshidrataron con etanol y se desecaron por el método del punto crítico en un desecador Hitachi HPC-1. Finalmente, las muestras se recubrieron con oro en un recubridor Jeol JFC-1100 y se observaron con un microscopio electrónico de barrido Hitachi S500 a 20 Kv.

Experimentos de marcaje

Con el propósito de conocer la participación del truncus arteriosus en la formación de las estructuras anatómicas del corazón maduro se realizaron experimentos de marcaje *in ovo* del corazón de embriones de pollo, utilizando marcas de gelatina-tinta china³². Se colocaron las marcas en el truncus arteriosus de 449 embriones de los estadios 22 a 24 de Hamburger y Hamilton (3.5 a 4.5 días de incubación), etapa en la cual ya está presente el truncus arteriosus pero apenas ha comenzado su septación (Fig. 1). Para colocar las marcas se realizó una ventana en la cáscara del huevo de aproximadamente 0.5 cm^2 , y observando a través de un microscopio estereoscópico y mediante unas pinzas de disección ultrafinas se rasgaron las membranas vitelina y pericárdica, dejando expuesto el corazón. Una vez colocada la marca en el truncus arteriosus, se precisó la ubicación de ésta midiendo con un ocular micrométrico la longitud total de este segmento y la distancia entre la marca y los extremos distal y proximal de él. En base a la ubicación de la marca, los embriones fueron divididos en dos subgrupos (Fig. 1 A):

Subgrupo A: Con marca en el tercio distal del truncus arteriosus (Fig. 1 C), y

Subgrupo B: Con marca en el tercio medio-proximal del truncus arteriosus (Fig. 1 B)

De los 449 embriones marcados, fueron descartados 245 por colocación defectuosa de la marca y/o hemorragia quirúrgica; en los 204 embriones restantes la ventana de la cáscara fue cubierta con un trozo de papel parafilm, siendo reincubados a 37.5 ± 0.5 °C y 100% de humedad hasta que alcanzaron los estadios 35-36 (9 a 10 días de incubación), momento en que ha

concluido la septación del corazón y ya pueden ser identificadas sus diferentes estructuras anatómicas (etapa de corazón maduro). Los embriones que alcanzaron dichos estadios fueron sacados del huevo, localizándose las marcas mediante microdisecciones del corazón, observando a través de un microscopio estereoscópico binocular. Con el propósito de determinar si la distribución de las marcas era debida al azar, los resultados fueron analizados estadísticamente utilizando la prueba de χ^2 .

Como grupo control se utilizaron 180 embriones, los cuales se incubaron hasta que alcanzaran también los estadios 22 a 24 en las mismas condiciones que el grupo experimental, realizándose también una ventana en la cáscara del huevo para determinar la edad exacta del embrión. El tiempo de reincubación y la observación final se realizaron de la misma forma que en el grupo experimental.

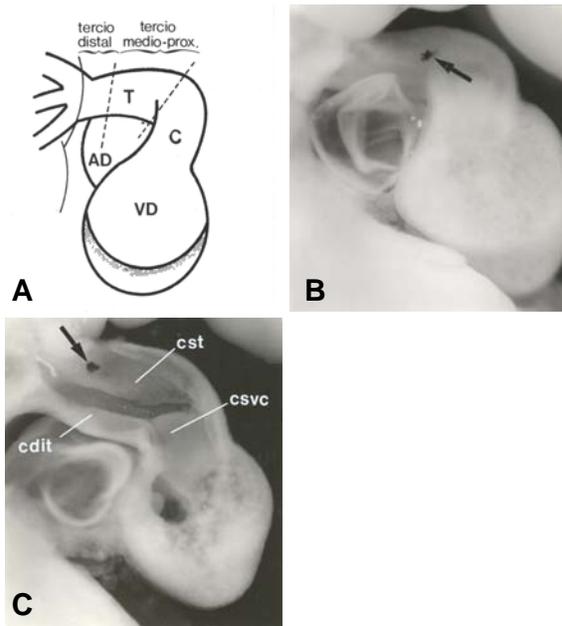


Fig. 1. Experimento de marcaje. A) Representación esquemática de la división convencional del truncus arteriosus. B) Fotomicrografía del corazón de un embrión de pollo del estadio 24, mostrando la ubicación inicial de una marca de gelatina-tinta china (flecha) en el tercio proximal del truncus arteriosus (x80). C) Fotomicrografía de una microdissección del corazón de un embrión de pollo del estadio 24, mostrando el aspecto de una marca de gelatina-tinta china (flecha) colocada en el tercio distal del truncus arteriosus, la cual quedó incluida en el extremo distal de la cresta truncal superior (x80). AD = atrio derecho; C = conus; T = truncus arteriosus; VD = ventrículo derecho; cdit = cresta dextro-inferior del truncus; cst = cresta superior del truncus; csvc = cresta sinistroyventral del cono

Resultados

Estudios de anatomía microscópica

Estadio 16 (2 días): El corazón tenía la forma de una herradura y el truncus arteriosus estaba situado en su extremo distal (Fig. 2 A). En el interior del truncus no se observaron crestas, pero si algunas células mesenquimatosas que estaban poblando la gelatina cardiaca (Fig. 3 A).

Estadios 17 - 19 (2.5 a 3.5 días): La morfología cardiaca va cambiando paulatinamente, aumentando la longitud del truncus arteriosus; en el interior se observó una cantidad cada vez mayor de células mesenquimatosas que estaban poblando la gelatina cardiaca (Fig. 3B).

Estadios 20 - 21 (3 a 3.5 días): El corazón había adoptado una forma de "bayoneta", formándose una angulación que marcaba

el límite entre el conus y el truncus arteriosus (Fig. 2 B). En el interior del truncus se observaron ya las crestas truncuales, en número de tres: una superior, una dextroinferior y la otra sinistroyinferior (Fig. 3 C); estas crestas estaban dispuestas longitudinalmente, ocupando la casi totalidad de este segmento, perdiéndose en sus extremos distal (en relación con el saco aórtico-pulmonar) y proximal (en relación con el conus). Las crestas truncuales habían aumentado su volumen y densidad celular, si bien la dextroinferior era la menos protruyente (Fig. 3 C).

Estadio 22 (3.5 a 4 días): El corazón mantenía más o menos la misma morfología externa. En el interior del corazón se observaba como el mesénquima de las crestas truncuales se continuaba distalmente con el del saco aórtico-pulmonar. En el conus se insinuaban ya las crestas conales, en número de dos: una sinistroyventral y la otra dextrodorsal; estas crestas estaban también dispuestas longitudinalmente, extendiéndose desde el límite de este segmento con el truncus arteriosus hasta perderse en el miocardio de la porción trabeculada del ventrículo derecho en desarrollo. En la zona de unión del conus con el truncus arteriosus, no se apreciaba continuidad de sus crestas.

Estadios 23 - 24 (4 a 4.5 días): El truncus arteriosus aumentó aproximadamente el doble de su longitud con respecto a la que presentaba en el estadio 21 (Fig. 2 C). En el interior del truncus arteriosus, las crestas truncuales ya densamente pobladas de células mesenquimatosas (Fig. 3 D) ocupaban toda la longitud del segmento (Fig. 4 A), apreciándose ya continuidad de las crestas conales y truncuales, de tal forma que el extremo distal de la cresta dextrodorsal del conus quedaba relacionada con el extremo proximal de la cresta superior del truncus, y el extremo distal de la cresta sinistroyventral del conus con el extremo proximal de la cresta dextroinferior del truncus. Las crestas conales eran ya muy prominentes y, aunque aún no fusionadas entre sí, dividían al conus en un cono ántero-lateral y otro pósteromedial.

Estadio 25 (4.5 a 5 días): La morfología externa del corazón era más o menos similar que en los estadios previos, siendo más patente aún la angulación entre el conus y el truncus arteriosus (Fig. 2 D). En el interior del truncus arteriosus las crestas truncuales mostraban un aspecto esponjoso (Fig. 3 E) y se habían desplazado en dirección proximal, pero no llegaban hasta el extremo distal de este segmento (Fig. 4 B); el endocardio era liso y uniforme a ese nivel. En el interior del saco aórtico-pulmonar había aparecido el septum aórtico-pulmonar, separando los orificios de los 4° y 6° arcos aórticos (Fig. 4 B); dicho septum tenía la forma de media luna con sus astas dirigidas hacia el truncus arteriosus: una de las astas, la situada a la derecha quedaba a un nivel más bajo o caudal (asta dextroinferior) que el asta situada a la izquierda (asta sinistroysuperior). El límite entre el saco aórtico-pulmonar y el truncus arteriosus se encontraba a nivel de la reflexión del pericardio, pudiéndose considerar al saco aórtico-pulmonar, en este estadio, como un segmento extrapericárdico (Fig. 4 B).

Estadio 26 (5 días): La morfología externa era similar a la observada en el estadio previo. Internamente se observaba ya continuidad de las astas del septum aórtico-pulmonar con las crestas truncuales, desapareciendo el espacio en donde no se veían crestas en el estadio previo; el asta dextroinferior del septum aórtico-pulmonar se continuaba con la cresta dextroinferior del truncus arteriosus, mientras que el asta sinistroysuperior del septum aórtico-pulmonar se situaba entre el extremo distal de las crestas superior y sinistroyinferior del truncus arteriosus. La unión del complejo septal formado por las astas del septum aórtico-pulmonar y las crestas truncuales estaba situado más proximal que en el estadio 25, ocupando una

posición intrapericárdica y dando la impresión de estar incluida en el extremo distal del truncus arteriosus.

Estadio 27 (5 a 5.5 días): Externamente el corazón mostraba importantes cambios, comenzando a perderse la forma de "bayoneta" vista hasta el estadio previo; además, comenzaba a insinuarse la separación entre la aorta ascendente y la arteria pulmonar principal; los atrios eran muy prominentes, abrazando la base del pedículo arterial en formación. En el interior del corazón se observaba que había comenzado a fusionarse el borde libre del septum aórtico-pulmonar con el extremo distal de las crestas truncales, habiéndose desplazado en dirección proximal y ocupando ahora la totalidad del tercio distal del truncus arteriosus (Fig. 4 C). Por otra parte, el conus mostraba evidencias de estar siendo incorporado al segmento ventricular, lo que se manifestaba externamente por un notorio acortamiento, e internamente por trabeculación del miocardio en su mitad inferior (tomando como punto de referencia la ubicación de las crestas conales), adquiriendo la misma morfología que el miocardio ventricular (Fig. 4 C). En algunos embriones se observaba que había comenzado la fusión de los cojines ventro-superior y dorso-inferior del canal atrioventricular.

Estadio 28 (5.5 a 6 días): La morfología externa del corazón se parecía ya a la del corazón maduro, perdiéndose en su totalidad la forma de "bayoneta" y comenzando a desaparecer la angulación entre el conus y el truncus arteriosus (Fig. 2 E). En el interior del truncus arteriosus las crestas truncales se habían fusionado en dirección proximal, alcanzando en algunos especímenes la casi totalidad de este segmento; de esta forma, en el truncus arteriosus podían ser identificados dos compartimentos o canales separados: uno en posición dextro-cefálica que desemboca en los 3° y 4° arcos aórticos, y el otro en situación sinistro-caudal que se continuaba con los 6° arcos aórticos (Fig. 4 D); proximalmente el compartimento truncal dextro-cefálico se continuaba con el cono póstero-medial, mientras que el compartimento truncal sinistro-caudal lo hacía con el cono ántero-lateral (Fig. 4 E,F). En este estadio se podían apreciar ya los esbozos de las sigmoideas arteriales en la mitad proximal del truncus arteriosus, a ambos lados de las crestas truncales fusionadas y de las paredes libres de este segmento a ese mismo nivel (Figs. 3 F y 4 D,E,F). El cono ántero-lateral se había incorporado totalmente al ventrículo derecho en formación, y el cono póstero-medial quedaba situado justo por encima del borde libre del septum interventricular primitivo, localizándose la cresta sinistro-ventral del conus en el perímetro ventro-cefálico del foramen interventricular (Figs. 4 D,E,F). La incorporación del conus al segmento ventricular, también había llevado consigo al truncus arteriosus hacia el ventrículo, dejando a la porción proximal de las crestas truncales justo por encima del segmento ventricular. En este estadio había concluido la fusión de los cojines del canal atrioventricular.

Estadio 29 (6 a 6.5 días): Externamente se podía apreciar que el ángulo que existía entre el conus y el truncus arteriosus había desaparecido por completo, por lo que era imposible establecer el límite entre estos segmentos; la separación entre la aorta ascendente y la arteria pulmonar principal estaba ya muy avanzada, aunque las arterias aún no estaban totalmente

individualizadas. En el interior, las crestas truncales se habían fusionado en toda su extensión y aparentemente también el extremo distal de las crestas conales, aunque esto último no era posible asegurarlo ya que se había borrado toda línea de demarcación entre las crestas truncales y conales, que además habían quedado alineadas en el mismo plano espacial; la zona de fusión quedaba justo en la porción ventro-cefálica del foramen interventricular, el cual era ya muy pequeño. El extremo caudal de la cresta sinistro-ventral del conus se perdía en la parte anterior del septo interventricular, mientras que el de la cresta dextro-dorsal del conus quedaba formando cuerpo con el borde ántero-derecho del orificio atrioventricular derecho.

Estadio 30 (6.5 a 7 días): Externamente se veían a la aorta ascendente y a la arteria pulmonar principal totalmente individualizadas entre sí (Fig. 2 F). Internamente se podía identificar a la cresta supraventricular, apreciándose en una tercera parte de los corazones estudiados un foramen puntiforme en su parte media, como último vestigio del foramen interventricular embrionario; en el resto de los corazones el foramen interventricular se había cerrado por completo.

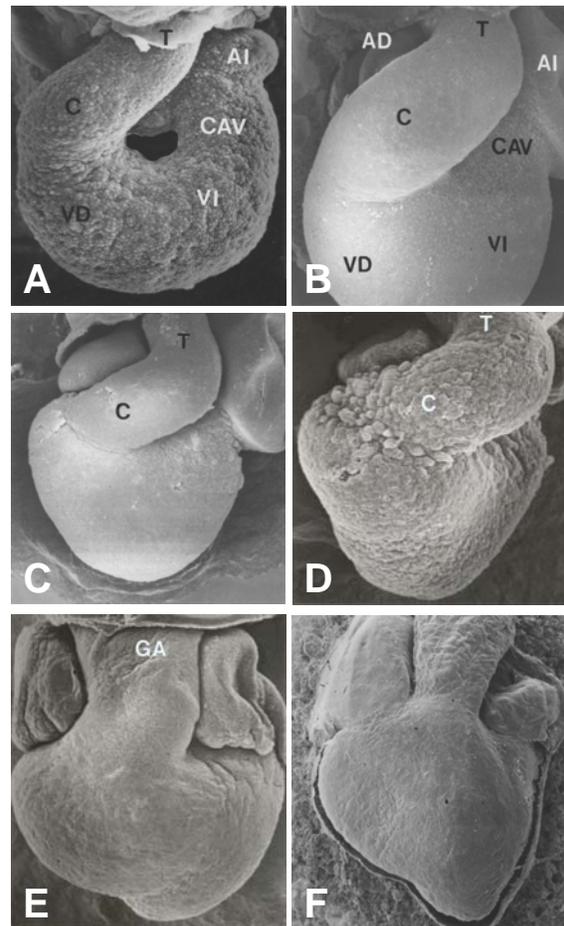


Fig. 2. Electromicrografías de barrido del aspecto externo del corazón de embriones de pollo en el periodo de post-asa. A) Estadio 16. Obsérvese la forma de herradura del corazón, en cuyo extremo distal está ya presente el truncus arteriosus (x85). B) Estadio 21. Nótese la forma de "bayoneta" del corazón y la angulación a nivel del límite cono-truncal (x85). C) Estadio 23. El truncus arteriosus ha aumentado considerablemente su longitud (x45). D) Estadio 25 (x63). E) Estadio 28. Obsérvese que la angulación cono-truncal ha desaparecido y comienza a insinuarse la separación externa entre las grandes arterias (x40). F) Estadio 29. Nótese que las grandes arterias están prácticamente separadas entre sí (x25).

AD = atrio derecho; AI = atrio izquierdo; C = conus; CAV = canal atrioventricular; GA = grandes arterias; T = truncus arteriosus; VD = ventrículo derecho; VI = ventrículo izquierdo

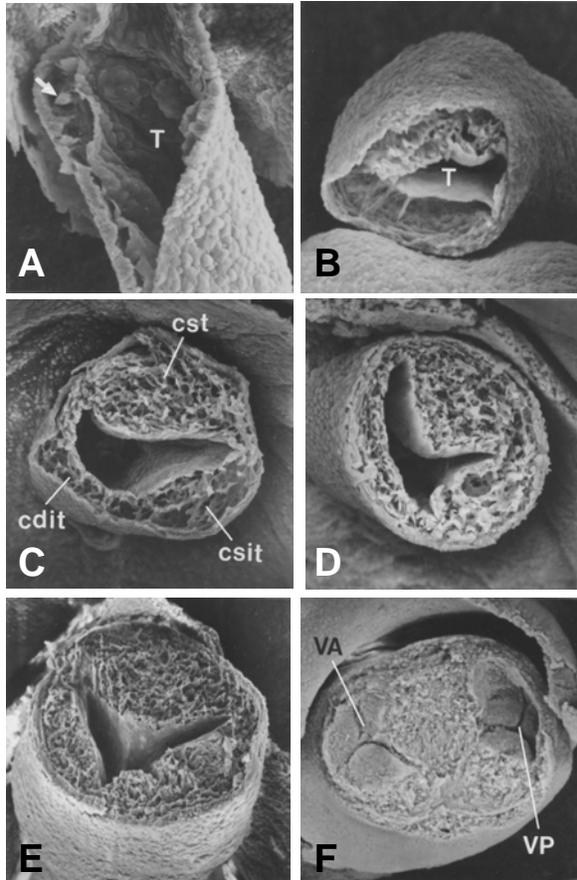


Fig. 3. Electromicrografías de barrido de cortes a nivel del truncus arteriosus del corazón de embriones de pollo en el periodo de post-asa. A) Estadio 16. Corte sagital; B) Estadio 17. Corte transversal; C) Estadio 21. Corte transversal; D) Estadio 23. Corte transversal; E) Estadio 25. Corte transversal; F) Estadio 28. Corte transversal; nótense los esbozos de las valvas sigmoideas en el interior del truncus arteriosus, el cual no se ha separado externamente (x82).

T = truncus arteriosus; VA = valva aórtica; VP = valva pulmonar; cdit = cresta dextroinferior del truncus; csit = cresta sinistroyinferior del truncus; cst = cresta superior del truncus

Esperimentos de marcaje

De los 204 embriones marcados y reincubados, 142 alcanzaron los estadios 35-36 (30.3% de mortalidad, distribuyéndose de la siguiente forma: 119 tenían corazón normal y presentaban una o más marcas en el corazón (83.8%), 19 tenían malformación cardiaca (13.3% de morbilidad) y los 4 embriones restantes tenían el corazón normal pero no se pudieron localizar marcas en él (2.8%) (Tabla I).

De los 119 embriones con corazón normal y con marca(s), 41 correspondieron al Subgrupo A y 78 al Subgrupo B (Figs. 5 y 6) (Tabla I).

Subgrupo A: Con marca inicial en el tercio distal del truncus arteriosus. Se obtuvieron 41 embriones, localizándose la(s) marca(s) en: a) La cresta supraventricular en 11 embriones (26.8%); b) En los anillos valvulares aórtico y/o pulmonar en 39 (95.1%); y c) En las grandes arterias, inmediatamente por arriba de los pisos valvulares, en 25 (60.9%) (Figs. 5 y 6). Estos resultados mostraron una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.001$).

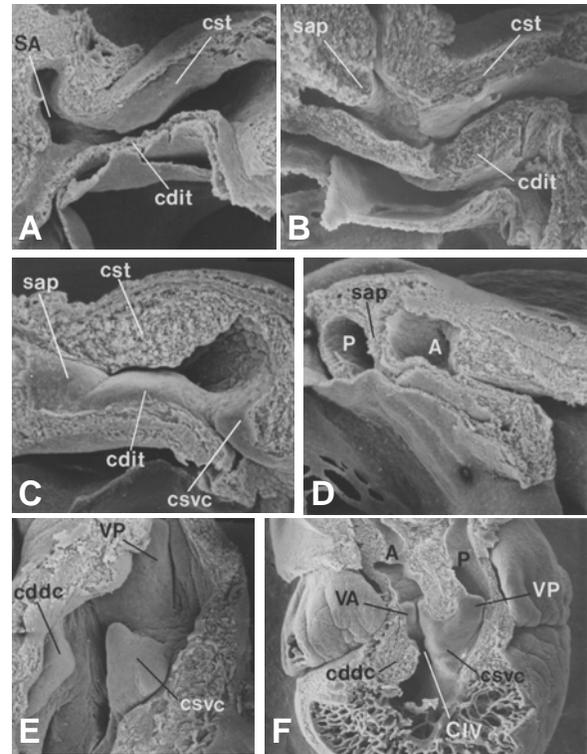


Fig. 4. Electromicrografías de barrido de disecciones del corazón de embriones de pollo en el periodo de post-asa. A) Estadio 24. Corte sagital; B) Estadio 25. Corte sagital; C) Estadio 27. Corte sagital; D) Estadio 28. Corte sagital; E) Estadio 28. Corte sagital; F) Estadio 28. Corte sagital; nótense que las crestas troncales ya no alcanzan el extremo distal del truncus arteriosus, y al septum aórtico-pulmonar separando los 4^o y 6^o arcos aórticos (x100). C) Estadio 27. Corte sagital; nótense que ha comenzado la fusión del septum aórtico-pulmonar con las crestas troncales (x78). D), E), F) Estadio 28. Obsérvese en (D) un corte sagital mostrando los dos compartimentos troncales producidos por la fusión de las crestas troncales (x90). En (E) la disección del cono ántero-lateral y de la arteria pulmonar en formación; nótense que las crestas conales aún no se han fusionado (x70). En (F) corte sagital del ventrículo derecho y de ambos compartimentos tronco-conales (x48). A = aorta; CIV = comunicación interventricular embrionaria; P = arteria pulmonar; SA = saco aórtico-pulmonar; VA = valva aórtica; VP = valva pulmonar; cddc = cresta dextrodorsal del conus; cdit = cresta dextroinferior del truncus; cst = cresta superior del truncus; csvc = cresta sinistroyventral del conus; sap = septum aórtico-pulmonar

Subgrupo B: Con marca inicial en el tercio medio-proximal del truncus arteriosus. Se obtuvieron 78 embriones, localizándose la(s) marca(s) en: a) La cresta supraventricular en 50 embriones (64.1%); b) en los anillos valvulares aórtico y/o pulmonar en 70 (89.7%); y c) En las grandes arterias, inmediatamente por arriba de los pisos valvulares, en 3 (3.8%) (Figs. 5 y 6). Estos resultados mostraron una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.001$).

De los 19 embriones con malformación cardiaca (Tabla I), estas fueron: a) Comunicación interventricular interfundibular aislada en 9 embriones (47.3%); b) Doble salida ventricular derecha con comunicación interventricular interfundibular y aorta posterior y derecha en 5 casos (26.3%); c) Estenosis del orificio atrioventricular derecho en 3 corazones (15.8%); d) Estenosis del orificio atrioventricular izquierdo en un caso (5.3%); y e) Hipoplasia ventricular izquierda en un caso (5.3%). Estas malformaciones se asociaron a ectopia cordis, parcial o total, en 13 casos (68.4%) y a ectopia visceral completa en 2 casos (10.5%). Debido a la alteración cardiaca, estos 19 embriones no fueron tomados en consideración en cuanto a la ubicación final de la marca.

De los 180 embriones reincubados como grupo control, 166 alcanzaron los estadios 35-36 (7.7% de mortalidad). De estos, dos embriones presentaron una comunicación interventricular interfundibular aislada (1.2%).

Tabla I: Experimentos de marcaje

	Embriones marcados y reincubados	Embriones muertos postmarcaje	Total embriones obtenidos	Embriones normales con marca	Embriones normales sin marca	Embriones anormales
Subgrupo A	75	26 (34.6%)	49 (65.3%)	41 (83.7%)	2 (4.1%)	6 (12.2%)
Subgrupo B	129	36 (27.9%)	93 (72.1%)	78 (83.9%)	2 (2.1%)	13 (14.0%)
Total	204	62 (30.3%)	142 (69.6%)	119 (83.8%)	4 (2.8%)	19 (13.3%)

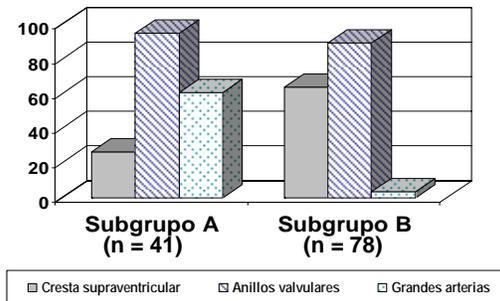


Fig. 5. Representación gráfica de los resultados obtenidos en el experimento de marcaje. Obsérvese el porcentaje de distribución de las marcas en la cresta supraventricular, anillos valvulares aórtico y pulmonar, y en las grandes arterias, en relación a la ubicación inicial de la marca en el tercio distal o medio-proximal del truncus arteriosus.

Discusión

De acuerdo a la revisión de Laane¹⁹, la primera descripción completa y detallada del corazón embrionario fue realizada por Von Haller⁴³ en 1758, quien denominó **Rostrum** al extremo arterial del corazón de los mamíferos y consideró que de él se iban a formar la aorta ascendente y la arteria pulmonar. El término de **truncus arteriosus** fue utilizado por primera vez por Von Kolliker⁴⁴ en 1861, denominación que desde entonces ha sido la más utilizada, pero no la única, ya que muchos otros nombres han sido empleados tales como **bulbus arteriosus**⁴, **bulbus**^{21,31,33}, **aorta ventral**¹⁷, **bulbo aórtico**⁵, **conus distal**⁹, **bulbus distal**²⁸, **polo arterial**¹⁹, **bulbus cordis**²⁷ y **tracto de salida**³⁴. Una revisión muy completa de las diferentes terminologías empleadas para el truncus arteriosus puede ser vista en los trabajos de Laane¹⁹ y de Pexieder²⁹.

La semántica no es sin embargo el problema principal, sino la falta de un consenso claro y definido de los límites y etapa del desarrollo en que están presentes ésta y otras estructuras del corazón embrionario. Esto ha llevado a una gran confusión ya que, en general, los diferentes autores han interpretado las observaciones de otros investigadores de una manera parcial y/o tendenciosa, extrapolando además las observaciones en forma indiscriminada de un modelo a otro (rata, pollo, hombre, etc.). Por todo esto, no sorprenden las grandes discrepancias de algunos trabajos con respecto a lo reportado por otros autores.

Otro de los problemas importantes es que algunos autores se han empeñado en considerar al truncus arteriosus como una estructura estática, que aparece como por arte de magia en un momento dado del desarrollo, que incrementa su tamaño con el paso del tiempo y que se expresa morfológicamente en el corazón definitivo en la misma situación espacial en que apareció. Dichos autores no consideran que el truncus

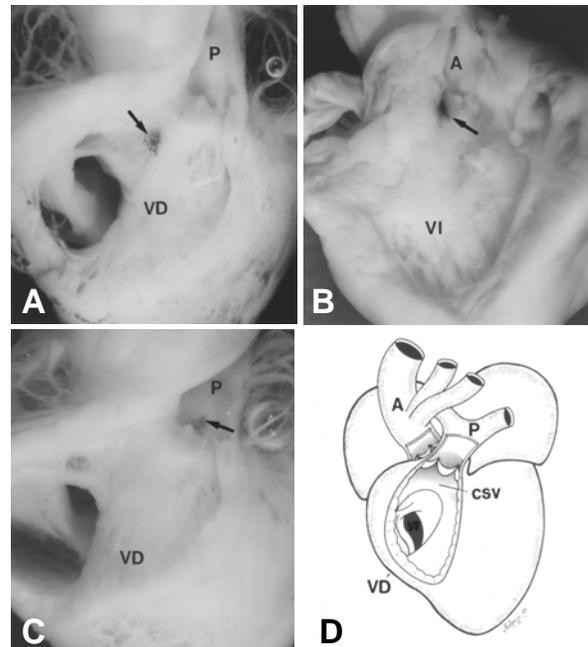


Fig. 6. Fotomicrografías del corazón de embriones de pollo mostrando la localización final de las marcas en el estadio 35-36. A) Marca (flecha) localizada en el tercio medio de la cresta supraventricular (x13). B) Marca (flecha) localizada a nivel del anillo aórtico, justo entre las sigmoideas aórticas anteriores (x13). C) Marca (flecha) localizada en la pared posterior de la arteria pulmonar, justo por encima de la sigmoidea pulmonar pósterio-izquierda (x15). D) Representación esquemática del corazón, mostrando las estructuras anatómicas en las que interviene el truncus arteriosus (zona sombreada). A = aorta; P = arteria pulmonar; VD = ventrículo derecho; VI = ventrículo izquierdo; csv = cresta supraventricular

arteriosus, al igual que el resto del corazón embrionario, está sufriendo un cambio continuo en su morfología, situación espacial y función, lo que los ha llevado a hacer descripciones erróneas, tal vez no en la observación en sí, sino en lo referente a la estructura embrionaria a la que supuestamente corresponde.

Nuestras observaciones nos permiten afirmar que el truncus arteriosus en el embrión de pollo es una estructura que sufre constantes modificaciones, no sólo en su morfología intrínseca, sino también en su situación espacial y relaciones con otras regiones del corazón. El truncus arteriosus comienza a desarrollarse en la etapa de post-asa temprana (estadios 15-16), constituyendo el extremo distal del tubo cardiaco y comunicando al conus con el saco aórtico-pulmonar⁸; en este momento el truncus arteriosus es muy corto, sin un límite claro de demarcación con el conus y con una constitución histológica semejante a la observada en el resto del corazón (Figs. 2 A y 3 A). En el inicio de la etapa de post-asa tardía (estadios 20 a 26), el truncus arteriosus se va alargando paulatinamente, formando una marcada angulación de aproximadamente 90° con el conus en los planos sagital y coronal; dicha angulación comienza a

desaparecer en el estadio 27, perdiéndose por completo en el estadio 29, y situándose el conus y el truncus arteriosus en el mismo plano espacial, siendo imposible de establecer el límite entre estos segmentos a partir de este momento (Fig. 2). Por el extremo distal, el truncus arteriosus se continúa desde el principio con el saco aórtico-pulmonar, y el límite entre estos segmentos está señalado externamente por la línea de reflexión del pericardio, aunque hay que señalar que en los estadios tempranos es difícil de precisar ésta.

Internamente, el truncus arteriosus también se va modificando en forma constante. Así, en el estadio 20-21 es posible identificar las crestas truncuales, en número de tres, ocupando la casi totalidad de este segmento (Fig. 3 C), perdiéndose insensiblemente en sus extremos proximal y distal; estas observaciones están de acuerdo con las de Greil¹², Shaner³³, Laane¹⁹ y Qayyum y cols.³⁰, quienes también describieron, en el embrión de pollo, tres crestas en el truncus arteriosus. En lo que respecta al embrión humano y de los mamíferos en general, la mayoría de los autores señalan que son dos las crestas truncuales^{7,9,10,18,20,21,24,28,35,39}.

Por otra parte, observamos que cuando aparecen las crestas conales en el estadio 22, existe una clara discontinuidad de éstas con las crestas truncuales, pero ya para el estadio 23-24, se establece una continuidad real entre las crestas conales y truncuales, continuidad que ya no perderán en etapas posteriores. Por el contrario, en los embriones humanos y de otros mamíferos, se ha dicho que las crestas conales y truncuales desde que aparecen están en continuidad, formando un complejo continuo^{1,7,20,21,35}. Pexieder²⁸ ha señalado que, en los mamíferos, si existe dicha discontinuidad de las crestas conales y truncuales, pero que ésta es muy precoz y se mantiene sólo por un corto periodo.

No hay discusión en la literatura de la participación de las crestas conales en el cierre de la comunicación interventricular embrionaria, tanto en aves como en mamíferos. La participación de las crestas truncuales en el cierre de la comunicación interventricular embrionaria ha sido reportada previamente en el embrión de pollo³, pero no así en otras especies. Esto puede ser debido a que la ubicación de la comunicación interventricular embrionaria sea diferente en aves y mamíferos, ya que en el embrión de pollo es claro que está comunicando los infundíbulos ventriculares³, a diferencia de lo que se ha descrito en el corazón de los mamíferos de que está situada entre la vía de entrada del ventrículo derecho y la vía de salida del ventrículo izquierdo, es decir, en la región del septo membranoso^{9,11,18,21,24,25,26,33,39,41}.

La incorporación del cono al segmento ventricular es un hecho aceptado por la mayoría de los autores. Este proceso ha sido descrito con términos tan ambiguos como absorción¹⁰, acortamiento¹, etc., pero también ha sido interpretada como la trabeculación progresiva de la pared anterior del infundíbulo del ventrículo derecho^{15,28}. Nuestras observaciones están de acuerdo con esta última interpretación, pero hemos podido comprobar que no sólo es el conus quien sufre este proceso, sino también el truncus arteriosus, lo cual queda de manifiesto por el acortamiento que sufre este segmento y la morfología similar del miocardio truncal, conal y ventricular (Fig. 4).

Nuestros experimentos de marcaje confirmaron que el truncus arteriosus va a contribuir substancialmente en el desarrollo de las válvulas aórtica y pulmonar, y en la porción proximal de la arteria pulmonar principal y de la aorta, pero además mostraron que este segmento del corazón embrionario participa en la constitución de la cresta supraventricular y en el cierre de la

comunicación interventricular embrionaria³, ambas estructuras ventriculares (Figs. 5 y 6).

Tanto en aves como en mamíferos, la gran mayoría de los autores aceptan que las crestas truncuales al fusionarse dividen al truncus arteriosus y dan origen a la arteria pulmonar y a la aorta. En el embrión de pollo pudimos comprobar que es sólo el extremo distal del truncus arteriosus (el cual carece de crestas) quien se va a diferenciar en un pequeño segmento de ambas grandes arterias. Creemos que esta contradicción no se debe al modelo utilizado, ya que se ha referido lo mismo en aves y mamíferos, sino a que se han utilizado fundamentalmente técnicas descriptivas, siendo sus resultados el producto de la interpretación de imágenes estáticas; De la Cruz y colaboradores⁶ llegaron a esta misma conclusión utilizando técnicas experimentales de marcaje, pero en su investigación no marcaron al truncus arteriosus, sino el límite entre éste y el cono, observando que sus marcas colocadas en dicha región aparecían posteriormente en el anillo de inserción de las valvas aórtica y pulmonar, por lo que pensaron que a ese nivel se iban a formar dichas valvas, y propusieron que del truncus arteriosus se iban a formar la arteria pulmonar y la aorta.

Por consiguiente, nuestros resultados discrepan con aquellas publicaciones que consideran que el truncus arteriosus va a formar exclusivamente las valvas aórtica y pulmonar y no grandes arterias^{9,10,20,37,38}, así como de aquellas otras que consideran que es la unión cono-truncal de donde se desarrollan las valvas aórtica y pulmonar^{1,6,7,11,15,18,24,34}. Por el contrario, si están de acuerdo con los trabajos de Pexieder²⁸ y Orts Llorca y cols.²⁷, quienes describieron a la porción distal del corazón embrionario como el “verdadero truncus arteriosus”, la cual ellos señalan “carece de crestas y miocardio y es la porción que va a dar origen a las grandes arterias”.

Nuestros resultados también muestran que no sólo las crestas conales contribuyen a la formación de la cresta supraventricular, sino también las crestas truncuales, por lo que apoyan lo establecido por Van Mierop y cols.⁴² de que el septum conal no debe ser considerado como homólogo de la cresta supraventricular del corazón adulto.

Nuestros resultados obtenidos nos permiten concluir que en el embrión de pollo, el comúnmente denominado “truncus arteriosus” no da origen a la totalidad de las grandes arterias (aorta y arteria pulmonar principal) como hasta ahora ha sido considerado por la gran mayoría de los autores, sino sólo a una pequeña porción de ellas justo por encima de las valvas aórtica y pulmonar. Por ello, consideramos que la denominación de “truncus arteriosus” de esta región en el embrión de pollo provoca confusión, ya que no es el principal precursor de dichas arterias, y que además tiene una contribución sustancial en los infundíbulos ventriculares y en la cresta supraventricular; la designación de “**bulbus distal**” como propuesta por Pexieder²⁸ nos parece más apropiada para esta región del corazón.

Referencias bibliográficas

- Anderson RH, Wilkinson JL, Arnold R, Lubkiewicz K. Morphogenesis of bulboventricular malformations. I. Consideration of embryogenesis in the normal Heart. *Br Heart J* 1974; **36**: 242-255.
- Argüello C, de la Cruz MV, Sánchez C. Ultrastructural and experimental evidence of myocardial cell differentiation into connective tissue cells in embryonic chick Heart. *J Mol Cell Cardiol* 1978; **10**: 307-315.

3. Arteaga M, García-Peláez I, Quero-Jiménez M. Contribution of the truncal and conal ridges to the formation of the definitive ventricular septum of the chick embryo. En *Paediatric Cardiology. Atrioventricular Septal Defects*. Quero-Jiménez M, Arteaga M. Ediciones Norma, S.A. Madrid, 1988. pp 104-119.
4. Born G. Beitrage zur Entwicklungsgeschichte des Saugetheirherzens. *Arch Mikrosk Anat* 1889; **33**: 284-378.
5. Davis CL. Development of the human heart from its first appearance to the stage found in embryos of twenty paired somites. *Contrib Embryol* 1927; **19**: 245-284.
6. De la Cruz MV, Sánchez C, Arteaga M, Argüello C. Experimental study of the development of the truncus and the conus in the chick embryo. *J Anat* 1977; **123**: 661-686.
7. De Vries PA, Saunders JB. Development of the ventricles and spiral outflow tract in the human heart. A contribution of the development of the human heart from age group IX to age group XV. *Contrib Embryol* 1962; **37**: 89-114.
8. García-Peláez I, Arteaga M. Experimental study of the development of the truncus arteriosus of the chick embryo heart. I. Time of appearance. *Anat Rec* 1993; **237**: 378-384.
9. Goor DA, Edwards JE, Lillehei CW. The development of the interventricular septum of the human heart; correlative morphogenetic study. *Chest* 1979; **58**: 453-467.
10. Goor DA, Dische R, Lillehei CW. The conotruncus. I. Its normal inversion and conus absorption. *Circulation* 1972; **46**: 375-384.
11. Grant RP. The embryology of ventricular flow pathways in man. *Circulation* 1962; **25**: 756-779.
12. Greil A. Beitrage zur vergleichenden anatomie und entwicklungschichte des herzens und des truncus arteriosus der wirbelthiere. I. Reptilien. *Morph Jahrb* 1903; **31**: 123-310.
13. Hamburger JM, Hamilton HL. A series of normal stages in the development of the chick embryo. *J Morphol* 1951; **88**: 49-92.
14. Hernández-Gutiérrez S, García-Peláez I, Zentella-Dehesa A, Ramos-Kuri M, Hernández-Franco P, Hernández-Sánchez F, Rojas E. NF-kB signaling blockade by Bay 11-7085 during early cardiac morphogenesis induces alterations of the outflow tract in chicken heart. *Apoptosis* 2006; **11**: 1101-1109.
15. Icardo JM. The growing heart: An anatomical perspective. En *Growth of the Heart in Health and Disease*. Zak R. Raven Press. New York, 1984. pp 41-79.
16. Kelly RG, Buckingham ME. The anterior heart-forming field: voyage to the arterial pole of the heart. *Trends Genet* 2002; **18**: 210-216.
17. Kerr JG. *Textbook of Embryology. Vol II: Vertebrata with the Exception of Mammalian*. Macmillan. London, 1919.
18. Kramer TC. The partitioning of the truncus and conus and the formation of the membranous portion of the interventricular septum in the human heart. *Am J Anat* 1942; **71**: 343-370.
19. Laane HM. *The arterial pole of the embryonic heart*. Swets and Zeitlinger. Amsterdam, 1978.
20. Los JA. Cardiac septation and development of the aorta, pulmonary trunk, and pulmonary veins: previous work in the light of recent observations. En *Morphogenesis and Malformation of the Cardiovascular System. Birth Defects: Original Article Series. Vol XIV*. Rosenquist GC, Bergsma D. Alan R. Liss Inc. New York, 1978. pp 109-138.
21. Mall FP. On the development of the human heart. *Am J Anat* 1912; **13**: 249-298.
22. Markwald RR, Trusk T, Moreno-Rodríguez R. Formation and septation of the tubular heart: Integrating the dynamics of morphology with emerging molecular concepts. En *Living Morphogenesis of the Heart*. De la Cruz MV, Markwald RR. Birkhäuser. Boston USA, 2000. pp 43-84.
23. Mjaatvedt CH, Nakaoka T, Moreno-Rodríguez R, Norris RA, Kern MJ, Eisenberg CA, Turner D, Markwald RR. The outflow tract of the heart is recruited from a novel heart-forming field. *Dev Biol* 2001; **238**: 97-109.
24. Netter FH, Van Mierop LHS. Embryology. En *The Ciba Collection of Medical Illustrations. Vol. 5*. Yonkman F. Ciba Pharmaceutical Co. New York, 1969. pp. 112-130.
25. Odgers PNB. The development of the pars membranacea septi in the human heart. *J Anat* 1938; **72**: 247-259.
26. Orts-Llorca F, Puerta J, Sobrado J. Morphogenesis of the ventricular floor pathways in man (bulbus cordis and truncus arteriosus). En *Perspectives in Cardiovascular Research. Vol. 5. Mechanisms of Cardiac Morphogenesis and Teratogenesis*. Pexieder T. Raven Press. New York, 1981. pp 17-29.
27. Orts-Llorca F, Puerta J, Sobrado J. The formation, septation and fate of the truncus arteriosus in man. *J Anat* 1982; **134**: 41-56.
28. Pexieder T. Development of the outflow tract of the embryonic heart. En *Morphogenesis and Malformation of the Cardiovascular System. Birth Defects: Original Article Series. Vol XIV*. Rosenquist GC, Bergsma D. Alan R. Liss Inc. New York, 1978. pp 29-68.
29. Pexieder T. Conotruncus and its septation at the advent of the molecular biology era. En *Developmental Mechanisms of Heart Disease*. Clarck EB, Markwald RR, Takao A. Futura Publishing Company, Inc. Armonk, New York, 1995. pp 227-247.
30. Qayyum SR, Webb S, Anderson RH, Verbeek FJ, Brown NA, Richardson MK. Septation and valvar formation in the outflow tract of the embryonic chick heart. *Anat Rec* 2001; **264**: 273-283.
31. Rychter Z. The vascular system of the chick embryo. III. On the problem of septation of the heart bulb and trunk in chick embryos. *Cz Morphol* 1959; **7**: 1-20.
32. Seichert V. Study of the tissue and organ anlage shifts by the method of plastic linear marking. *Folia Morphol* 1965; **13**: 228-238.
33. Shaner RF. Comparative development of the bulbus and ventricles of the vertebrate heart with special reference to Spitzer's theory of heart malformations. *Anat Rec* 1962; **142**: 519-529.
34. Steding G, Seidl W. Contribution of the development of the heart. Part I: Normal development. *Thorac Cardiovasc Surgeon* 1980; **28**: 386-409.

35. Tandler J. The development of the heart. En *Manual of Human Embryology*. Keibel F, Mall FP. Lippincott. Philadelphia, 1912. pp. 534-570.
36. Thompson RP, Fitzharris TP. Morphogenesis of the truncus arteriosus of the chick embryo heart: The formation and migration of mesenchymal tissue. *Am J Anat* 1979; **154**: 545-556.
37. Thompson RP, Fitzharris TP. Morphogenesis of the truncus arteriosus of the chick embryo heart: Tissue reorganization during septation. *Am J Anat* 1979; **156**: 251-264.
38. Thompson RP, Mettew YM, Fitzharris TP. A computer graphic study of cardiac truncal septation. *Anat Rec* 1983; **206**: 207-214.
39. Van Mierop LHS, Alley RD, Kausel HW, Stranahan A. The anatomy and embryology of endocardial cushion defects. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1962; **43**: 71-83.
40. Van Mierop LHS, Alley RD, Kausel HW, Stranahan A. Pathogenesis of transposition complexes. I. Embryology of the ventricles and great arteries. *Am J Cardiol* 1963; **12**: 216-225.
41. Van Mierop LHS. Anatomy and embryology of the right ventricle. En *The Heart*. Edwards JE, Lev M, Abell MR. Williams and Wilkins. Baltimore 1974. pp 1-6.
42. Van Mierop LHS, Patterson DF, Schnarr WR. Hereditary conotruncal septal defects in Keeshond dogs: Embryologic studies. *Am J Cardiol* 1977; **40**: 936-950.
43. Von Haller A. Sur le formation du coeur dans le poulet. Vol 2. Lausanne, 1758 (citado por Laane, 1978).
44. Von Kolliker A. Entwicklungsgeschichte des Menschen und der Hoeren Thiere. Leipzig, 1861 (citado por Laane, 1978).
45. Waldo K, Miyagawa-Tomita S, Kumiski D, Kirby ML. Cardiac neural crest cells provide new insight into septation of the cardiac outflow tract: aortic sac to ventricular septal closure. *Dev Biol* 1998; **196**: 129-144.
46. Waldo KL, Kumiski DH, Wallis KT, Stadt HA, Hutson MR, Platt DH, Kirby ML. Conotruncal myocardium arises from a secondary heart field. *Development* 2001; **128**: 3179-3188.
47. Watanabe M, Choudhry A, Berlan M, Singal A, Siwik E, Mohr S, Fisher SA. Developmental remodeling and shortening of the cardiac outflow tract involves myocyte programmed cell death. *Development* 1998; **125**: 3809-3820.
48. Watanabe M, Jafri A, Fisher SA. Apoptosis is required for the proper formation of the ventriculo-arterial connections. *Dev Biol* 2001; **240**: 274-288.

Esplacnología del pez erizo, *Diodon hystrix* (Teleostei: Diodontidae)

Abraham Kobelkowsky

Laboratorio de Peces.
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
Av. San Rafael Atlixco 186. Col. Vicentina, Iztapalapa.

Título corto:
Pez erizo

Correspondencia:
Abraham Kobelkowsky
Laboratorio de Peces.
Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Iztapalapa.
Av. San Rafael Atlixco 186. Col. Vicentina,
Iztapalapa.
Apartado Postal 55-532.
09340 México, Distrito Federal.
E-mail: akd@xanum.uam.mx.

Resumen

Se describe la morfología de la cavidad visceral y su organografía en el “pez erizo” *Diodon hystrix*. Sobresale la gran amplitud del estómago, mientras que el intestino es relativamente corto. El hígado está restringido a la porción derecha de la cavidad. El bazo se adosa a la vejiga gaseosa o natatoria. Esta es compacta, forma dos lóbulos anteriores, y muestra la inserción de músculos derivados del *retractor dorsalis*. Los riñones están totalmente separados por este músculo. Relacionado con el carácter de inflar el cuerpo, se encuentra la notable distensión del estómago y la reducción en volumen de la musculatura axial.

Palabras clave: cavidad visceral, organografía, pez erizo, *Diodon hystrix*

Abstract

The morphology of the visceral cavity of the “porcupinefish” *Diodon hystrix* is described. It is outstanding the great size of stomach. The intestine is short. The liver is constrained to the right portion of the visceral cavity. The spleen is attached to the swimbladder. The swimbladder has two anterior lobes, and shows insertion of muscles as part of the *retractor dorsalis*. Kidneys are completely separated each other by this muscle. Related to the character of inflate the body, is the noticeably distensibility of stomach and the reduction of the volume of axial musculatura.

Key words: visceral cavity, organography, porcupinefish, *Diodon hystrix*

Introducción

El “pez erizo” *Diodon hystrix* Linnaeus, 1758, es un teleosteo marino de distribución circuntropical asociado a arrecifes, desde San Diego, California hasta Chile, incluyendo las Islas Galápagos; desde las Bermudas y Golfo de México hasta Brasil; en el Atlántico Oriental; y desde el mar Rojo hasta Madagascar. Es similar al “pez globo” o “botete” de los géneros *Spheroides* y *Lagocephalus*⁸, los cuales se inflan en menor grado.

Su cuerpo es robusto y cubierto por numerosas espinas largas y puntiagudas, las cuales están plegadas hacia atrás cuando el animal no está inflado; presenta un solo diente en cada mandíbula y se alimenta de invertebrados con caparazón como crustáceos, moluscos y equinodermos.

Son prácticamente ausentes los trabajos sobre la anatomía de *D. hystrix*, por lo que el objetivo del presente trabajo es la descripción de su cavidad visceral y su organografía, como base para estudios de su alimentación y reproducción.

Material y Método

Se procesaron 10 ejemplares colectados en las costas del Estado de Guerrero, que se fijaron con formaldehído al 10%, previa incisión en el vientre, y se conservaron en alcohol etílico al 70%.

Con el objeto de exponer la cavidad visceral se realizó un corte ecuatorial de la piel, mediante tijeras grandes y fuertes. Se describió en primer término el tracto digestivo. Se separó este cortando transversalmente el esófago y el recto, así como también el conducto biliar común.

Al retirar el tracto digestivo quedó expuesto el hígado, la vejiga gaseosa o natatoria y el bazo. Se retiraron el bazo y la vejiga gaseosa, seccionando los músculos dorsales a la misma, quedando así expuestos los riñones, las gónadas y la musculatura axial.

Resultados

La cavidad visceral del “pez erizo” *Diodon hystrix* es notablemente amplia. En el sentido vertical se extiende desde ambos lados de la columna vertebral y de la musculatura axial, hasta la región ventral, y en el longitudinal, desde la parte ventral del esófago hasta un nivel posterior al ano y los orificios urogenitales (Fig. 1).

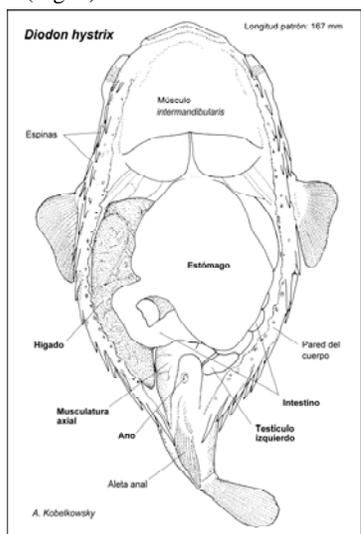


Fig. 1. Vista ventral de la cavidad visceral del pez erizo *Diodon hystrix*, después de retirar la piel de la región ventral del cuerpo.

Se reconoce al estómago como un saco flácido, extremadamente amplio, que cubre la mayor extensión de las vísceras (Fig. 1). De su lado derecho se desprende el intestino, el cual es relativamente corto y termina en el ano. En el interior del estómago se identificaron moluscos gasterópodos y bivalvos, y restos de conchas de los mismos.

El hígado es relativamente macizo y está localizado en la porción derecha de la cavidad visceral (Fig. 2), haciendo contacto con el tracto digestivo y la vejiga gaseosa; se encuentra subdividido centralmente por numerosos lóbulos.

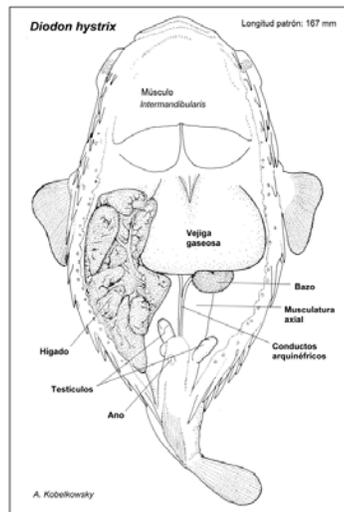


Fig. 2. Vista ventral de la cavidad visceral de *Diodon hystrix*, después de retirar el tracto digestivo.

El bazo tiene una forma semiesférica (Fig. 2) y se adosa a la porción izquierda de la superficie posterior de la vejiga gaseosa. La vejiga gaseosa o natatoria está desplazada hacia el lado izquierdo del plano sagital (Fig. 2). Su aspecto es globuloso y forma dos amplios lóbulos anteriores. Su superficie dorsal está ampliamente en contacto con los riñones y el músculo *retractor dorsal*. De este músculo se separan dos paquetes que se fijan en un punto de la superficie dorsal de la vejiga gaseosa.

Los dos riñones separados totalmente entre sí por el músculo *retractor dorsalis* (Fig. 3), son aplanados y con la superficie ventral cóncava, por su acoplamiento con la vejiga gaseosa. En la cara ventral del riñón derecho se nota parte de la vena cardinal posterior. De cada riñón parte un conducto arquinéfrico, que se une a la vejiga urinaria. Esta es esférica, de la que parte el corto conducto urinario común, que se abre en una papila urinaria.

Los testículos son ovalados y blanquecinos y tienen una posición divergente (Fig. 3).

Al retirar las vísceras, se observa la cavidad visceral notablemente amplia, extendida desde el tabique transversal hasta atrás del nivel del ano y los orificios urogenitales.

La musculatura axial se encuentra desconectada de las paredes de la cavidad visceral, de tal manera que se observa como una estructura alargada y compacta, formada por series de miotomos (Fig. 3), y que está desplazada ligeramente hacia la izquierda del plano sagital.

En las paredes internas de la cavidad visceral se encuentran numerosos músculos alargados (Fig. 3), que se fijan a la base de las espinas del cuerpo.

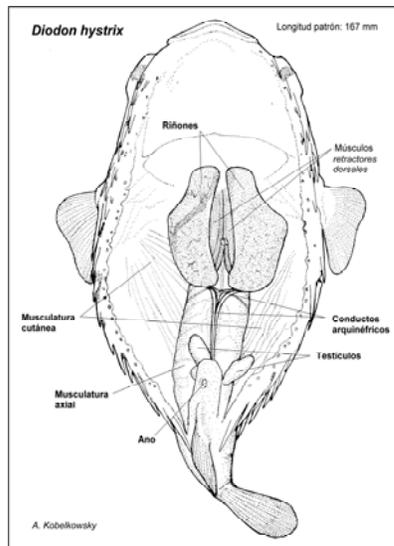


Fig. 3. Vista ventral de la cavidad visceral de *Diodon hystrix*, después de retirar el hígado y la vejiga gaseosa.

Discusión

La gran amplitud de la cavidad visceral del “pez erizo” *Diodon hystrix* está directamente relacionada con la capacidad de llenado del estómago con agua, que a su vez, permite aumentar el diámetro de su cuerpo de dos a tres veces, de acuerdo con autores como Brainerd ¹, Wainwright & Turingan ⁹, y Wainwright *et al.* ¹⁰. El estómago no está delimitado por las costillas, y se extiende hacia arriba de la columna vertebral, la cual durante la expansión del estómago se arquea, adquiriendo el pez una forma esférica.

En el presente trabajo se observan músculos subcutáneos, que probablemente produzcan la erección de las espinas, durante el inflado del cuerpo.

Es notable la asimetría de la organografía de la cavidad visceral, que implica que el hígado ocupe gran parte de la mitad derecha, mientras que los demás órganos y la musculatura axial estén orientados hacia el lado izquierdo.

En reposo el estómago cubre prácticamente todas las vísceras, y su relación de tamaño con respecto al intestino corto, corresponde a su hábito carnívoro. De acuerdo con Brainerd ¹ el estómago no realiza funciones de digestión, siendo esta en el intestino. Su alimentación es de tipo bentófaga por la ingestión de moluscos del fondo del mar, los cuales son principalmente bivalvos y gasterópodos.

El aspecto fraccionado de las conchas, probablemente se deba a la acción de los dientes mandibulares, los cuales son grandes y fuertes. La dieta a base de organismos con esqueleto duro, se denomina por varios autores como “durofagia”, como Summers ⁶ en la manta *Aetobatus narinari*, Summers *et al.* ⁷ en el tiburón cornudo *Heterodontus francisci* y Dean y Motta ² en la raya eléctrica *Narcine brasiliensis*,

La vejiga gaseosa o natatoria tiene un aspecto similar a la de los peces sapo de la especie *Opsanus beta* y la doradilla de la especie *Porichthys porosissimus* como se ilustra en el trabajo de Kobelkowsky ³. Mientras que *O. beta* y *P. porosissimus* presentan músculos sonoríferos de carácter intrínseco, *D. hystrix* muestra la inserción de un par de delgados músculos derivados de los *retractores dorsales* y que probablemente tensen a la vejiga, produciendo algún sonido. Esto corresponde

con la anotación de Nelson ⁴ sobre la vibración de la vejiga natatoria, para producir sonidos en los Tetraodontiformes. La división de la vejiga gaseosa en dos lóbulos anteriores permite el paso de los músculos *retractores dorsales*, que en los teleósteos superiores se fijan a los huesos faringobranquiales ¹¹. Mientras que en la mayoría de los teleósteos los dos riñones se han fusionado extensamente entre sí, en *D. hystrix* están atípicamente separados. Esta situación morfológica no es considerada por Ogawa ⁵ dentro de su clasificación de los riñones de los teleósteos, de acuerdo con su grado de fusión. En el presente trabajo se observa que, topográficamente dicha separación es debida a la interposición de los músculos *retractores dorsales*, los cuales son relativamente voluminosos. La separación de ambos riñones, implica la salida por separado de los dos conductos arquinéfricos, los cuales tienen una trayectoria paralela entre sí, sin fusionarse, hasta alcanzar la vejiga urinaria.

Referencias bibliográficas

1. Brainerd EL. Pufferfish inflation: functional morphology of postcranial structures in *Diodon holocanthus* (Tetraodontiformes). *J Morphol* 1994; **220**: 143-262.
2. Dean MN, Motta PJ. Anatomy and functional morphology of the feeding apparatus of the lesser electric ray, *Narcine brasiliensis* (Elasmobranchii: Batoideo). *J Morphol* 2004; **262**: 462-483.
3. Kobelkowsky A. La vejiga natatoria del pez sapo *Opsanus beta* y la doradilla *Porichthys porosissimus* (Pisces: Batrachoididae). *Arch Mex Anat Nueva Época*. En prensa.
4. Nelson JS. *Fishes of the World*. John Wiley and Sons, Inc. New York, 1994. p 600.
5. Ogawa M. Comparative study of the external shape of the teleostean kidney with relation to phylogeny. *Sci Rept Tokio Kyoiku Daigaku* 1961; **B10**: 61-68.
6. Summers AP. Stiffening the stingray skeleton-an investigation of durophagy in myliobatid stingrays (Chondrichthyes, Batoideo, Myliobatidae). *J Morphol* 2000; **243**: 113-126.
7. Summers AP, Ketcham RA y Rowe T. Structure and function of the horn shark (*Heterodontus francisci*) cranium through ontogeny: development of hard prey specialist. *J Morphol* 2004; **260**: 1-12.
8. Torres-Orozco BR. *Los Peces de México*. AGT Editor, S.A. México 1991. p 235.
9. Wainwright PC y Turingan RG. Muscular basis of bucal pressure: inflation behaviour in the striped burrfish *Chilomycterus schoepfi*. *J Exp Biol* 1996; **199**: 1209-1218.
10. Wainwright PC, Turingan RG y Brainerd EL. Functional morphology of pufferfish inflation: mechanism of the bucal puma. *Copeia* 1995; **1995**: 614-625.
11. Winterbottom R. A descriptive synonymy of the striated muscles of the Teleostei. *Proc Acad Nat Sci Phil* 1974; **125**: 225-317.

Morfología del sistema digestivo de *Dorosoma cepedianum* (Pisces: Clupeidae)

Abraham Kobelkowsky y Selene Ortiz-Burgos
Laboratorio de Peces.
Departamento de Biología.
Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Iztapalapa.

Título corto:
Dorosoma cepedianum

Correspondencia:
Dr. Abraham Kobelkowsky
Laboratorio de Peces.
Departamento de Biología.
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
Av. San Rafael Atlixco 186,
Col. Vicentina, Iztapalapa,
09340 - México, D.F.
E-mail: akd@xanum.uam.mx

Resumen

El sistema digestivo de la lacha *Dorosoma cepedianum* corresponde al patrón morfológico de la familia Clupeidae. El aparato branquial es de tipo filtrador, con numerosas branquiespinas laminares, y muestra desarrollados los órganos epibranquiales. Parte del estómago está modificada en molleja. El intestino es considerablemente largo y presenta numerosos ciegos duodenales.

Palabras clave: aparato branquial, Clupeidae, lacha, microfagia, sistema digestivo

Introducción

Los peces de la familia Clupeidae son habitantes de aguas costeras que se alimentan de plancton y que por formar grandes cardúmenes constituyen valiosas pesquerías comerciales en varias regiones del mundo¹⁰. Las capturas de clupeidos en el Atlántico Occidental constituyen la mayor parte de la pesca de escama¹¹.

La lacha *Dorosoma cepedianum* (LeSueur, 1818) es un clupeido de aproximadamente 57 cm de longitud, que habita principalmente lagos de América del Norte y ríos que drenan al Atlántico Occidental, y en cierto grado en el mar. Su límite meridional es el río Pánuco, México. Esta especie se explota para la producción de fertilizantes y de alimento para ganado y es importante en la pesca deportiva⁷.

Entre los escasos trabajos sobre la morfología del sistema digestivo y el aparato branquial de clupeidos se encuentran los de Nelson⁹, Miller⁸, Charles-Dominique², Friedland⁴, Kobelkowsky⁵ y Castillo-Rivera *et al.*¹.

Considerando la importancia económica de la lacha *Dorosoma cepedianum*, se tiene como objetivo del presente trabajo la descripción de su sistema digestivo.

Material y Método

Se colectaron ejemplares de *Dorosoma cepedianum* mediante una red de chinchorro de 10 mm de abertura de malla, en la laguna Pueblo Viejo Veracruz.

El análisis anatómico se realizó en 20 ejemplares, mediante exposición tanto de la cavidad bucofaríngea como de la visceral. Se preparó manualmente el esqueleto de las branquias, retirando las laminillas branquiales, las branquiespinas y los músculos dorsales y ventrales de los arcos branquiales.

En 10 ejemplares adultos con un intervalo de longitud patrón de 17.0 a 20.5 cm, se contaron las branquiespinas de las ramas inferior y superior del primer arco branquial y los ciegos duodenales; asimismo se midieron la longitud de la rama inferior del primer arco branquial y del intestino. Se utilizó el término de ciegos duodenales en lugar de ciegos pilóricos, ya que se forman principalmente en el duodeno.

Se describe la morfología de los huesos que forman el aparato branquial, así como también la morfología del esófago, estómago, intestino e hígado.

Las ilustraciones se realizaron mediante una *camera lucida* acoplada a un microscopio estereoscópico Wild M3Z.

Resultados

La boca de la lacha *Dorosoma cepedianum* es ventral, subterminal y no lleva dientes mandibulares (Fig. 1 a). La cavidad bucofaringea es aplanada en el sentido dorsoventral (Fig. 1 b). No se encuentran dientes en el paladar, en el piso de la cavidad bucofaringea, ni en los arcos branquiales.

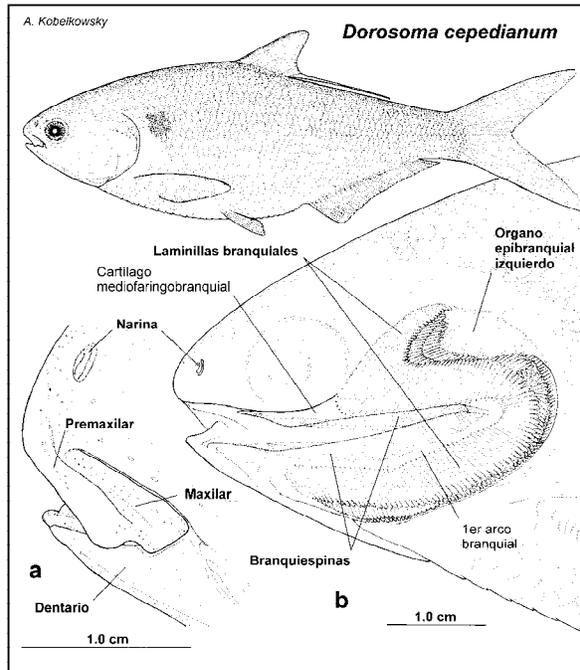


Fig. 1. Cavidad bucofaringea de *Dorosoma cepedianum*. a) Vista lateral de las mandíbulas. b) Vista lateral de la cavidad bucofaringea mostrando el aparato branquial.

El aparato branquial está aplanado en el sentido dorsoventral y está constituido por cinco arcos branquiales (Fig. 2 a), los cuales muestran las ramas superiores e inferiores aproximadamente de la misma longitud. La longitud de la rama inferior del primer arco branquial corresponde a aproximadamente 7.0 veces de la longitud patrón del pez. Se incluyen los basibranchiales 1 a 4, los hipobranchiales 1 a 3, los ceratobranchiales 1 a 5, los epibranchiales 1 a 4 y los infrafaríngeobranchiales 1 a 4. La rama superior del primer arco se prolonga hacia delante por el cartílago mediofaringobranchial.

Los primeros tres epibranchiales forman un proceso dorsal delgado, del que se originan los correspondientes músculos *levatori externi*, el epibranchial 4 desarrolla una amplia lámina dorsal, que refuerza al órgano epibranchial y de la cual se origina el músculo *levator externus 4*. Mientras que los procesos dorsales de los dos primeros epibranchiales son cortos, el correspondiente al tercer epibranchial es más largo y está curvado hacia adelante. La lámina dorsal del cuarto epibranchial es notablemente amplia y lleva una escotadura posterior.

Las laminillas branquiales de las ramas superiores se prolongan más arriba del término de las ramas superiores de los arcos branquiales, mientras que el número de las branquiespinas de la rama superior del primer arco se prolonga hacia delante sobre el cartílago mediofaringobranchial (Fig. 1 b, 2 b).

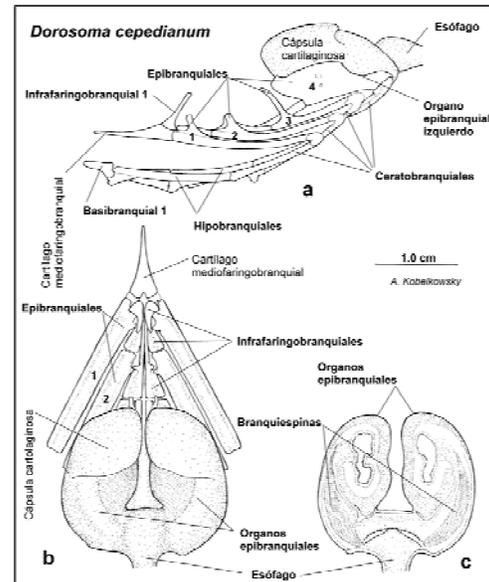


Fig. 2. Aparato branquial de *Dorosoma cepedianum*. a) Vista lateral izquierda del esqueleto branquial. b) Vista dorsal de los órganos epibranchiales. c) Corte frontal de los órganos epibranchiales.

Las branquiespinas son laminares y relativamente cortas, y suman en promedio en el primer arco branquial 514.5, correspondiendo 245.6 elementos a la rama superior y 268.9 a la inferior. Estas estructuras no llevan dientes y su longitud es uniforme a lo largo del arco branquial, con excepción de los extremos anteriores, donde se acortan. Las series de branquiespinas posteriores del cuarto branquial y anteriores del quinto arco se extienden hacia arriba, dentro de cada órgano epibranchial.

Los órganos epibranchiales son dos estructuras musculosas ovoides y huecas en posición dorsal a los arcos branquiales 4 y 5 (Fig. 2 a). Se encuentran reforzadas anteriormente por el amplio proceso laminar del epibranchial 4. Su pared posterior es continua con la del esófago.

El esófago se inicia de manera angosta desde los órganos epibranchiales, y se continúa con el estómago (Fig. 3 c). El estómago muestra una porción cardíaca delgada y una porción pilórica con su mayor longitud modificada en una molleja notablemente grande. No se forma ciego estomacal. La molleja muestra su lumen reducido y las paredes musculosas notablemente gruesas. Del extremo posterior del estómago se origina el conducto neumático que lo comunica con la vejiga natatoria.

El intestino presenta un promedio de longitud de 43.5 cm. El duodeno se ubica en la parte derecha del estómago y se extiende casi hasta el límite posterior de la cavidad visceral (Fig. 3 b). El resto del intestino muestra un patrón de enrollamiento con asas longitudinales, de las cuales la mayoría se encuentran posterior a la molleja, mientras que dos asas pequeñas se ubican ventralmente a esta. De la porción duodenal se desarrollan aproximadamente 1,439 ciegos duodenales, de corta longitud. Un número relativamente reducido de ciegos se localiza anteriormente a la molleja, mientras que la mayoría se encuentran por el lado derecho del duodeno.

El hígado es discontinuo y se extiende mayormente por el lado izquierdo, ocupando los espacios entre las partes del tracto

digestivo (Fig. 3 a). Anteriormente y ventral al corazón se forma un lóbulo hepático.

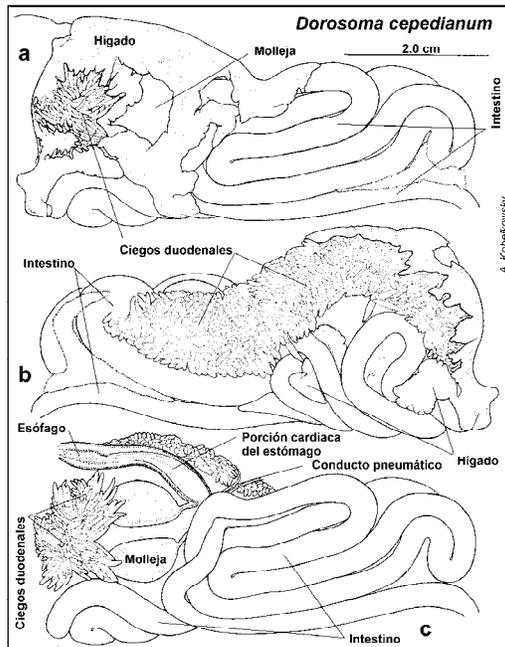


Fig. 3. Tracto digestivo de *Dorosoma cepedianum*. a) Vista lateral izquierda. b) Vista lateral derecha. c) Vista lateral izquierda después de retirar el hígado.

Discusión

Dentro de la ictiofauna de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz, Kobelkowsky⁵ señala la frecuencia de estructuras relacionadas con la microfagia o ingestión de partículas diminutas de alimento. Así, describe la presencia de branquiespinas largas, delgadas y numerosas, de órganos epibranchiales, molleja e intestino largo en *Cetengraulis edentulus*, *Brevoortia patronus*, *Brevoortia gunteri*, *Dorosoma cepedianum* y *Dorosoma petenense*. En *Mugil cephalus* y *M. curema* el mismo autor apunta la presencia de estas estructuras con excepción de los órganos epibranchiales.

La organización del aparato branquial de la lacha corresponde en términos generales al patrón morfológico de la familia Clupeidae, por el número y forma de los huesos de los cinco arcos branquiales, por la presencia de órganos epibranchiales y de branquiespinas numerosas y delgadas. Sin embargo, *D. cepedianum* difiere de los restantes clupeidos por la forma laminar de las branquiespinas y su relativa reducida longitud.

La organización del tracto digestivo de *D. cepedianum* corresponde al patrón morfológico de la familia Clupeidae, debido a la modificación de parte del estómago en molleja, por la gran longitud del intestino y la presencia de numerosos ciegos duodenales. Este último carácter contrasta con la presencia de escasos o ningún ciego pilórico de la mayoría de los teleosteos.

Nelson⁹ describe una tendencia evolutiva en los clupeidos hacia la microfagia, por la pérdida de dientes, aumento del número de branquiespinas y el desarrollo de órganos epibranchiales. Fagade & Olayan³ y MacNeil & Brandt⁶ reconocen el aumento del número de branquiespinas con la talla del individuo en los clupeidos *Ethmalosa fimbriata* y *Alosa pseudoharengus*

respectivamente, aspecto que determina un aumento del área filtradora.

De acuerdo con Miller⁸ los órganos epibranchiales de los peces del orden Clupeiformes son estructuras que concentran el alimento filtrado por el aparato branquial, antes de ser transportado al esófago y se encuentran reforzados por la lámina dorsal del epibranchial⁴. El mismo autor señala la constancia de la lámina epibranchial en los peces de la familia Clupeidae, aunque de manera secundaria ya no desarrollen los órganos epibranchiales.

Miller⁷ describe los cambios de dieta de *D. cepedianum* durante su desarrollo, y señala que ingiere cierta cantidad de fango, considerado como accidental, sin embargo, la arena puede ser ingerida a propósito para ayudar a la molleja a macerar el alimento.

Referencias bibliográficas

- Castillo-Rivera M, Kobelkowsky A, Zamayo V. Food resource partitioning and trophic morphology of *Brevoortia gunteri* and *B. patronus*. *J Fish Biol* 1996; **49**: 1102-1111.
- Charles-Dominique E. Exposé synoptique des données biologiques sur l'éthmalose (*Ethmalosa fimbriata* S. Bowdich, 1825). *Rev Hydrobiol Trop* 1982; **15**: 373-397.
- Fagade SO, Olayan CIO. The biology of the West African Shad, *Ethmalosa fibriata* (Bowdich) in the Lagos lagoon, Nigeria. *J Fish Biol* 1972; **4**: 519-533.
- Friedland KD. Functional morphology of the branquial basket structures associated with feeding in the Atlantic menhaden, *Brevoortia tyrannus* (Pisces: Clupeidae). *Copeia* 1985; **1985**: 1018-1027.
- Kobelkowsky DA. Estructuras relacionadas con la microfagia en los peces de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz, México. *Oceanología* 1995; **1**: 7-18.
- MacNeil DB, Brandt SB. Ontogenetic shifts in gill-rakers morphology and predicted prey capture efficiency of the alewife, *Alosa pseudoharengus*. *Copeia* 1990; **1990**: 164-171.
- Miller RR. Systematic and biology of the gizzard shad (*Dorosoma cepedianum*) and related fishes. *United States Fish Wildlife Service, Fishery Bulletin* 1960; **60**: 371-392.
- Miller RV. Constancy of epibranchial organs and fourth epibranchial bones within species groups of clupeids fishes. *Copeia* 1969; **1969**: 308-312.
- Nelson GJ. Gill arches of teleostean fishes of the family Clupeidae. *Copeia* 1967; **2**: 389-399.
- Nelson JS. *Fishes of the world*. John Wiley & Sons. Nueva York, 1994. p600.
- Whitehead PJ. Clupeidae. In: Fisher, FAO Species Identification Sheets for Fishery Purposes. Western Central Atlantic (Fishing Area 31). Roma, 1977.

Diferencias estacionales en las habilidades cognitivas

Enrique Canchola Martínez *, Carlos Kerbel-Lifshitz **,
Jorge Vieyra Durán *, Jorge Haro Castellanos *
Departamentos de Biología de la Reproducción * y de
Ciencias de la Salud **.
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

Título corto:
Habilidades cognitivas

Correspondencia:
Dr. Enrique Canchola Martínez
Departamento de Biología de la Reproducción
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina
04340 - México, D. F.
Tel. 58-04-49-10
Fax 58-04-49-30
Email: cancho@xanum.uam.mx

Resumen

Desde hace algunas décadas se ha incrementado notablemente el interés de estudiar las diferencias sexuales en las habilidades cognitivas y los mecanismos hormonales que regulan estas habilidades cognitivas en los humanos y se ha podido establecer que existen diferencias en las funciones neuropsicológicas entre hombres y mujeres. Se ha encontrado que las mujeres tienen mayor velocidad en los mecanismos de percepción, frecuencia verbal, habilidades no verbales como la memoria y el uso de oraciones más largas y complejas; en cambio se ha reportado que los hombres tienen más desarrolladas las habilidades visuales estero-espaciales que implican percepciones espaciales y rotaciones mentales.

Por otra parte se ha reportado que en el hemisferio norte, los hombres tienen mayor concentración de testosterona en otoño-invierno que en primavera y verano. Con base en lo anterior, decidimos estudiar si la época del año tiene relación con el rendimiento escolar de alumnos que estudiaron unidades de enseñanza aprendizaje que requiere para su comprensión, de memoria secuencial y mecanismos mentales deductivos como son las asignaturas de química, matemáticas y fisiología. Para este estudio se realizó un análisis retrospectivo de las calificaciones obtenidas por 514 alumnos (229 hombres y 285 mujeres) que estudiaron en la Universidad Autónoma Metropolitana cuyo sistema educativo es trimestral: en la época de invierno, primavera y otoño. Los resultados de este estudio mostraron que el mayor índice de reprobación es en el hombre en el trimestre de otoño-invierno y no existen diferencias en el índice de reprobación entre hombres y mujeres en los trimestres de primavera. Nuestros resultados podrían servir como indicadores para recomendar que las asignaturas de química y matemáticas o contenidos de mayor dificultad no se dieran en otoño-invierno y que es importante tomar en cuenta las preferencias de horarios de los estudiantes, ya que se detectó que una de las causas de deserción universitaria era la insatisfacción con el horario y particularmente en el trimestre de otoño- invierno cuando los individuos tienden a dormir más.

Abstract

Since some decades ago, the interest to study the human sexual differences of the cognitive abilities and the hormonal mechanisms involved in the regulation of these abilities has been remarkably extended and had made possible to establish that exist neuroendocrinological functional differences between men and women. It has been found that in women performance of perception mechanisms, verbal frequency, non-verbal skills like memory and the construction of longer and more complex sentences is faster.

On the other hand, it has been reported that men have more stereospatial visual abilities implicating spatial and mental rotations.

It is well known that in the North hemisphere men's testosterone levels are higher during Autumn-Winter than in Spring-Summer, taking this into account, we decided to study if the season of the year is related to the scholar efficiency of students of the teaching-learning unities, that require sequential memory and deductive mental mechanisms, for example chemistry, mathematics and physiology. For this study we made a retrospective analysis of the marks obtained by a total of 514 students (229 men and 285 women) from the Universidad Autónoma Metropolitana where the educational system is quarterly during Winter, Spring and Autumn, the results showed that the higher number of non-passing students were men during the Autumn-Winter quarters and there are not differences between men and women during the Spring quarters.

Our results could be useful as indicator to recommend that subjects as chemistry and mathematics or subjects even more difficult wont be imparted during the Autumn-Winter periods and it is also to be considered the schedule preferences of students since it was detected that one of the reasons to abandon the university was the disagreement about the schedule and particularly during the Autumn-Winter quarter when the natural tendency is to sleep longer.

Introducción

A pesar de la gran cantidad de investigaciones que se han venido realizando desde hace algunas décadas, en cuanto a las diferencias sexuales en las habilidades cognitivas y en la asimetría funcional del cerebro, estos aspectos de la fisiología humana permanecen sin resolver y se han generado discusiones enconadas de muchos neurocientíficos al respecto ⁸. Muchos investigadores han reportado que la mujer tiene una habilidad cognitiva mayor que los hombres en la construcción verbal: frecuencia, construcción de oraciones más largas y complejas, memoria secuencial y mayor destreza en las actividades que requieren movimientos finos, en una relación de 70:20; en cambio los hombres tienen mayor habilidad que las mujeres en el razonamiento matemático y visión estero-espaciales, que implican percepciones espaciales y rotaciones mentales de los objetos. En cuanto a la lateralización, se ha reportado que la mujer presenta una simetría de su cerebro, en cambio el hombre presenta una lateralización de un 80:20 de la mujer ^{1,3}.

En cuanto a las hormonas, también se ha propuesto que tanto los estrógenos como los andrógenos en la etapa prenatal y durante la pubertad, participan en la estructuración del cerebro masculino y femenino y en el establecimiento de las habilidades cognitivas sexo dependiente ^{2,6}. Por otra parte se ha reportado que en el hemisferio norte, los humanos presentan fluctuaciones en los niveles de hormonas procedentes de las gónadas y de la glándula suprarrenal: los hombres ¹¹ tienen mayor concentración de

testosterona en otoño-invierno (época fría) que en primavera, mientras que las mujeres ⁷ muestran una tendencia a un aumento de estrógenos en la misma época. Las acciones de las hormonas, son múltiples, en términos generales son las responsables de la actividad cognitiva cerebral a través de la modulación de la secreción y acción de los neurotransmisores ⁹. Con base en lo anterior, decidimos estudiar si la época del año tiene relación con el rendimiento escolar de alumnos que estudian una unidad de enseñanza aprendizaje que requiere para su comprensión de memoria secuencial y mecanismos mentales deductivos.

Material y Método

Para este estudio se realizó un análisis retrospectivo de las calificaciones obtenidas por 514 alumnos (229 hombres y 285 mujeres) que estudiaron en la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa, cuyo sistema educativo es en trimestres en la época de invierno, primavera y otoño. Se hizo un análisis comparativo entre el índice aprobación- reprobación de hombres y mujeres que estudiaron las asignaturas de química general, matemáticas y fisiología general, en el periodo comprendido entre los años 2000-2004. Consideramos en términos generales que el estudio de la química y la fisiología requieren de memoria secuencial, en tanto que las matemáticas requieren de mecanismos mentales deductivos. Para el análisis de los resultados utilizamos la prueba de análisis de varianza (ANOVA) estableciendo el rango de significancia en $p < 0.5$.

Tabla I: Porcentaje de alumnos reprobados por trimestre.

M= mujeres, H= hombres

Asignatura	% de reprobados por trimestre						
	Primavera		Otoño		Invierno		P
	M	H	M	H	M	H	
Fisiología	6.6	8.7	7.0	13.1	7.0	10.9	$p < 0.5$
Matemáticas	7.0	10.4	9.8	26.2	9.8	17.4	$p < 0.5$
Química	7.7	9.6	10.5	18.7	8.4	15.2	$p < 0.5$

Resultados

Los resultados de este estudio se muestran en la tabla I, donde podemos ver que el mayor índice de reprobación, estadísticamente significativo $p < 0.5$, es en los hombres, en el trimestre de otoño, y en menor grado, pero significativamente en invierno, en las asignaturas de química y matemáticas. En cuanto a fisiología los hombres también presentaron una tendencia a presentar un mayor índice de reprobación en estas dos estaciones, aunque no se encontraron diferencias estadísticas. Por el contrario, no se encontraron diferencias en el índice de reprobación entre hombres y mujeres en el trimestre de primavera. Finalmente, como puede apreciarse, en todos los trimestres las mujeres presentaron una mayor habilidad para el aprendizaje de las asignaturas.

Discusión y Conclusiones

De acuerdo a los resultados de este estudio podríamos concluir que los niveles mayores de testosterona que presentan los hombres en la época de otoño-invierno ⁴ podrían ser los responsables de la disminución de las habilidades cognitivas y funciones neuropsicológicas que aumentan el índice de reprobación, ya que durante el otoño-invierno los hombres son menos diestros para las funciones cognitivas y motoras finas. Durante esta época pareciera que la testosterona, que se encuentra en mayor concentración, pudiera estar destinada para la fisiología reproductiva, ya que durante el otoño-invierno se incrementa en forma significativa la conducta sexual y los embarazos en los humanos ¹⁰.

Nuestros resultados podrían servir como un indicador para recomendar que las asignaturas de química y matemáticas o contenidos de mayor dificultad no se dieran en otoño. Por otra parte consideramos que es importante tomar en cuenta las preferencias de horarios de nuestros estudiantes, ya que se ha encontrado en nuestro estudio que una de las causas de deserción

universitaria es la insatisfacción con el horario y particularmente en el trimestre de otoño-invierno, cuando los individuos tienden a dormir más⁵. Concluimos que esto podría ser una de las causas de un mayor índice de reprobación, ya que se ha reportado previamente que si los individuos no satisfacen su cuota de dormir, presentan deficiencias en el aprendizaje.

Referencias bibliográficas

1. Cohn LD. Sex differences in the course of personality development: a meta-analysis. *Psychol Bull* 1991; **109**: 252-266.
2. Falter CM, Arroyo M, Davis GJ. Testosterone: activation or organization of spatial cognition? *Biol Psychol* 2006; **73**: 132-140.
3. Halpern, D.F. Sex Differences in Cognitive Abilities. 3rd ed. Hillsdale, Erlbaum. NJ 2000.
4. Hampson E, Kimura D. Reciprocal effects of hormonal fluctuations on human motor and perceptual-spatial skills. *Behav Neurosci* 1988; **102**: 456-459.
5. Izac SM, Eeg TR. Basic anatomy and physiology of sleep. *Am J Electroneurodiag Technol* 2006; **46**: 18-38.
6. Janowsky JS. Thinking with your gonads: testosterone and cognition. *Trends Cogn Sci* 2006; **10**: 77-82.
7. Partonen T. Estrogen could control photoperiodic adjustment in seasonal affective disorder. *Med Hypotheses* 1995; **45**: 35-36.
8. Sanders G, Sjodin M, de Chastelaine M. On the elusive nature of sex differences in cognition: hormonal influences contributing to within-sex variation. *Arch Sex Behav* 2002; **1**: 145-152.
9. Shemisa K, Kunnathur V, Liu B, Salvaterra TJ, Dluzen DE. Testosterone modulation of striatal dopamine output in orchidectomized mice. *Synapse* 2006; **60**: 347-353.
10. Smolensky MH, Reinberg A, Bickova-Rocher A, Sanford J. Chronoepidemiological search for circannual changes in the sexual activity of human males. *Chronobiologia* 1981; **8**: 217-230.
11. Svartberg J, Jorde R, Sundsfjord J, Bonna KH, Barrett-Connor E. Seasonal variation of testosterone and waist to hip ratio in men: the Tromso study. *J Clin Endocrinol Metab* 2003; **88**: 3099-3104.

Bazo vagabundo. Reporte de un caso y revisión de literatura

Gervacio Samuel Vásquez Ruiz^{*}, Víctor Hugo Mercado Gómez^{**},
José Refugio Santamaría Aguirre^{**}, Eduardo Rovelo Lima^{***},
Ernesto Jaime Solís^{****}

^{*}Residente de 1er grado, Departamento de Pediatría

^{**}Residente de 2º grado, Departamento de Cirugía General

^{***}Residente de 5º grado, Departamento de Cirugía Oncológica

^{****}Cirujano Pediatra, Adscrito al Departamento de Pediatría

Hospital Juárez de México.

México DF, 07760, México.

Título corto:

Bazo vagabundo

Correspondencia:
Gervacio Samuel Vásquez Ruiz
División de Pediatría. 4º piso
Hospital Juárez de México,
07760, México DF.
Teléfono: 55- 86-67-86
E-mail: manquio@hotmail.com

Resumen

La entidad conocida como bazo vagabundo es extremadamente rara, consistiendo en un bazo que tiene ausencia de sus ligamentos de fijación, o en su defecto se encuentran laxos, permitiendo que la víscera pueda localizarse en cualquier parte del abdomen, incluso en la pelvis; clínicamente se manifiesta como abdomen agudo por vólvulo esplénico, o por molestias abdominales inespecíficas con o sin un tumor móvil y palpable. El diagnóstico se basa en estudios de gabinete, tales como la tomografía y el ultrasonido Doppler, o más recientemente con la resonancia magnética. Para el tratamiento depende la viabilidad del bazo durante la cirugía para decidir esplenectomía o esplenopexia. Presentamos el caso de una niña de 12 años con una presentación subaguda de esta patología con vólvulo esplénico, manejada con esplenectomía por cambios isquémicos irreversibles.

Palabras clave: bazo vagabundo, esplenopexia, esplenectomía, vólvulo esplénico.

Introducción

El bazo tiene un origen a partir de una condensación mesenquimal del mesogastrio dorsal durante la cuarta semana de la embriogénesis; durante el crecimiento fetal, la rotación del intestino y el aumento de tamaño del mesenterio dorsal lleva al bazo al lado izquierdo del abdomen, donde se fija a través de los ligamentos esplenorenal y gastroesplénico.

La incapacidad en la fusión del mesogastrio con la pared posterior conduce a una formación incompleta de los medios de fijación del bazo, por tanto es posible localizarlo en cualquier parte del abdomen o incluso en la pelvis. Cuando genera manifestaciones clínicas, generalmente por compromiso vascular se puede manifestar como abdomen agudo, o como tumor abdominal palpable. Siendo de difícil diagnóstico esta condición clínica, deben tenerse en cuenta dos aspectos: primero, que es una patología muy poco común y segundo, que es imperativo auxiliarse de estudios de gabinete, tales como el ultrasonido Doppler, la tomografía y la resonancia magnética para corroborarlo. Su solución es quirúrgica, ya sea con esplenectomía o esplenopexia, la decisión debe tomarse durante la laparotomía habitualmente, observando la viabilidad del órgano¹.

Reporte del caso

Femenino de 12 años de edad, con apendicectomía sin complicaciones a los 7 años de edad. Refiere sintomatología desde 20 días previos al ingreso, con dolor abdominal pungitivo en flanco izquierdo sin irradiaciones, sin acompañantes ni factores que lo modifiquen, cede parcialmente con analgésico.

Una semana previa al ingreso presenta el dolor de mismas características acompañado de náusea y vómito (10 ocasiones en 24 horas), de contenido gastrointestinal; el dolor es constante, sin irradiaciones, de intensidad moderada, cede parcialmente con analgésico, por lo que acuden a urgencias pediátricas de nuestro hospital.

Sus signos vitales eran normales. Abdomen plano, se observa cicatriz de incisión Rockey Davis, blando y depresible, dolor a la palpación en hipocondrio y flanco izquierdos, no hay datos de irritación peritoneal, sin presencia de visceromegalias, peristaltismo normal. Sus exámenes de laboratorio sin datos alterados. Radiografías: sin alteraciones, sólo dilatación gástrica. Ultrasonido: reporta gastromegalia, y datos de probable absceso esplénico. USG Doppler: reporta trombosis de la arteria esplénica (Fig. 1). TAC: hipodensidades en polo inferior de bazo, probable absceso esplénico (Fig. 2).



Fig. 1. Ultrasonido Doppler con reporte de trombosis de arteria esplénica.



Fig. 2. TAC con hipodensidades en polo inferior de bazo con reporte de probable absceso de bazo.

Por los anteriores datos se somete a laparotomía exploradora por trombosis de arteria esplénica, siendo los hallazgos quirúrgicos una torsión del pedículo esplénico en sentido antihorario dos veces y media, además de ausencia de ligamentos de fijación del bazo, por lo que se decide efectuar esplenectomía (Fig. 3). Se aplica vacuna anti neumocócica. Evolución postoperatoria satisfactoria, se egresa sin complicaciones.



Fig. 3. Laparotomía exploradora con esplenectomía.

Discusión

La primera descripción detallada del bazo vagabundo se acredita a Van Horne, en 1667, como hallazgo incidental en una autopsia²⁰.

Los tres principales medios de fijación del bazo son los ligamentos esplenorenal, gastroesplénico y frenocólico. El ilienorenal y el gastrolíenal se originan del mesogastrio dorsal. La reflexión posterior izquierda de este mesenterio fija la cola del páncreas a la superficie anterior del riñón izquierdo; si esta fijación es incompleta o no ocurre, el bazo puede moverse a cualquier parte del abdomen, elongando su pedículo y predisponiéndolo a lesiones traumáticas^{8,13}. Se le ha conocido con diversos nombres, tales como: bazo ectópico, bazo ptósico o proptósico, bazo flotante, bazo desplazado, o bazo aberrante.

La incidencia del bazo vagabundo se desconoce, pudiendo presentarse desde los 3 meses de edad hasta los 82 años, sin embargo la mayoría de los casos reportados son en mujeres en

edad reproductiva, generalmente entre los 20 y 40 años, y un tercio de los casos en niños, y de éstos, el 70% en mayores de 10 años, mientras que en menores de un año, predominan los hombres en relación con las mujeres, constituyendo el 0.1 a 0.2% de las esplenectomías^{26,28}.

Las teorías al respecto de la etiología son: la multiparidad (por efecto hormonal provocan laxitud de los ligamentos), aumento de la laxitud abdominal, esplenomegalia con tracción y elongación del pedículo esplénico, o malformación de los ligamentos peritoneales^{1,18}.

El bazo está anclado anteriormente por el ligamento gastroesplénico, y posteriormente por el esplenorenal, ambos, junto con una porción del páncreas forman el pedículo, por lo tanto en el bazo vagabundo, su pedículo se elonga, volviendo la víscera muy móvil, por lo que se localiza en cualquier parte del abdomen; esto puede hacer que el pedículo se rote produciendo un vólvulo esplénico (variando desde 540 hasta 2160 grados), o bien pudiendo sufrir avulsión traumática o trauma cerrado al estar desprotegido fuera de su localización normal²⁻¹⁴.

En circunstancias menos frecuentes se puede asociar con vólvulo gástrico (debido a que comparten la misma etiología), síndrome de Prune-Belly, agenesia renal, eventración y hernia diafragmática, o bien presentarse como torsión prenatal o intraútero^{16,29}.

Las formas de presentación clínica pueden ser como tumor abdominal con o sin dolor, o la más frecuente, como abdomen agudo por torsión de un segmento gastrointestinal por adherencias esplénicas, o por torsión del pedículo esplénico, en la cual se compromete el retorno venoso, produciendo congestión, impidiendo el flujo arterial, con dolor secundario a la distensión capsular por el rápido crecimiento esplénico y la peritonitis local; en la torsión crónica incompleta, puede haber dolor abdominal moderado e intermitente³⁰. Los hallazgos clínicos que pueden sugerir esta entidad son los descritos originalmente por la triada de Gindrey y Piquard en 1966⁵:

1. palpación de tumor firme, ovoide,
2. se produce dolor al dirigir el tumor a cualquier parte excepto hacia cuadrante superior izquierdo,
3. timpanismo en cuadrante superior izquierdo.

En raras ocasiones puede presentarse con otras entidades que varían desde hematemesis por vólvulos gástricos, pancreatitis aguda recurrente, necrosis de cola pancreática, obstrucción intestinal, absceso esplénico, hasta retención aguda de orina¹¹.

El diagnóstico clínico es difícil, por lo que las modalidades de imagen tienen un papel clave. Se han utilizado las radiografías simples, los estudios con bario, centelleografía, ultrasonido, Doppler y tomografía axial computarizada. Los más útiles han sido el Doppler, que muestra carencia del flujo arterial, y la tomografía axial computarizada, que puede mostrar desde ausencia del bazo en posición anterior al riñón izquierdo y posterior al estómago, una masa abdominal o pélvica con parénquima homogéneo o heterogéneo con menor valor de atenuación que el tejido esplénico normal, o bien en la tomografía helicoidal con reconstrucción en tercera dimensión se observa la torsión de los vasos esplénicos^{7,27}. Recientemente, Deux y cols han utilizado las imágenes por resonancia magnética para determinar la viabilidad del bazo, su localización y con la angiorresonancia la morfología de la arteria esplénica⁹.

Las opciones terapéuticas son la observación (relacionada con 65% de complicaciones debido a riesgo de vólvulo con la consecuente isquemia, infarto y necrosis), la esplenopexia si al

reducir la torsión el bazo se observa viable o de lo contrario, la esplenectomía, ambas, por vía abierta o laparoscópica ¹⁵.

La primera esplenopexia fue hecha por Tuffier en 1882, posteriormente, otros autores la han descrito de varias formas de tratamiento quirúrgico por ejemplo fijar el bazo por su pedículo, suturar el bazo al diafragma utilizando una bolsa de malla de Dexon alrededor del bazo. fijarlo con el omento, utilizando la transposición de la flexura colónica y el ligamento gastrocólico para la esplenopexia y finalmente, en el 2005, por vía laparoscópica se hizo una esplenopexia con bolsa retroperitoneal y dilatación con globo ^{12,19,21,22,23}.

Conclusión

Se conoce poco acerca de esta patología debido a que es extremadamente infrecuente, siendo la manifestación más común el abdomen agudo secundario a la torsión del pedículo esplénico. Es importante tener al bazo vagabundo en mente cuando se cumplan los hallazgos clínicos para tratar de integrar tal diagnóstico y auxiliarnos con el Doppler, la tomografía y la resonancia magnética, y considerar la esplenopexia como tratamiento de elección cuando las circunstancias lo permitan, de no ser así efectuar la resección quirúrgica.

Referencias bibliográficas

- Allen KB, Andrews G. Pediatric wandering spleen-The case for splenopexy: Review of 35 Reported Cases in the Literature. *J Ped Surg* 1989; **24**: 432-435.
- Balliu PR, Bregante J, Perez-Velasco MC, et al. Splenic haemorrhage in a newborn as the first manifestation of wandering spleen syndrome. *J Ped Surg*. 2004; **39**: 240-242.
- Beutler TM, Dudley DA, Walsh JD, et al. Splenic volvulus. *J Am Coll Surg* 2003; **197**: 1047.
- Bhasin A, Gulati MS, Kashyap R. Value of power Doppler sonography in the evaluation of torsion in a wandering spleen. *J Clin Ultrasound* 2001; **29**: 60-61.
- Brown CV, Virgilio GR, Vazquez WD. Wandering spleen and its complications in children: A case series and review of the literature. *J Ped Surgery* 2003; **38**: 1676-1679.
- Chang YW, Kim HBK, Yoon HK, Kee SK. Multidetector-Row CT appearance of acute torsion of wandering spleen in a child. *Acta Radiol* 2003; **44**: 107.
- Dalpe C, Cunningham M. Wandering spleen as an asymptomatic pelvic mass. *Obstet Gynecol* 2003; **101**: 1102-1104.
- Danaci M, Belet Ü, Yalin T, Polat V, Nuro S, Selçuk MB. Power Doppler sonographic diagnosis of torsion in a wandering spleen. *J Clin Ultrasound* 2000; **28**: 246-248.
- Deux J-F, Salomon L, Barrier A, Callard P, Bazot M. Acute Torsion of wandering spleen: MRI findings. *Am J Roetg* 2004; **182**: 1607-1608.
- Fujiwara T, Takehara Y, Isoda H, Ichijo K, Tooyama N, Kodaira N, Kitanaka H, Asai T, Kawaguchi K. Torsión of the wandering spleen: CT and angiographic appearance. *J Comp Assist Tomog* 1995; **19**: 84-86.
- Granel B, Serratrice J, Bartoli JM, Vidal V, Berthet B, Disdier P, Weiller PJ. Splenic volvulus in a young woman. *Am J Surg* 2003; **114**: 422-423.
- Hirose R, Kitano S, Bando T, Ueda Y, Sato K, Yoshida T, Suenobu S, Kawano T, Izumi T. Laparoscopic splenopexy for pediatric wandering spleen. *J Ped Surg* 1998; **33**: 1571-1573.
- Horwitz JR, Black CT. Traumatic rupture of a wandering spleen in a child: Case report and literature review. *J Traum Inj Infect Critic Care* 1996; **41**: 348-350.
- Kim SC, Kim DY, Kim IK. Avulsion of wandering spleen after traumatic torsion. *J Ped Surg* 2003; **38**: 622-623.
- Maxwell-Armstrong CA, Clarke EDV, Tsang TM, Stewart RJ. The wandering spleen. *Archiv Dis Child* 1996; **74**: 247-248.
- Nawaz A, Jacobsz A, Matta H, Al-Khouder G, Ansari F, Al-Salem AH. Intrauterine torsion of a wandering spleen presenting as an abdominal cystic swelling. *J Ped Surg* 2000; **35**: 1508-1510.
- Ohta H, Nishimura M, Nii M, Nomura A, Hanafusa T, Ukikusa M, Awane H. Tc-99m Phytate images in a patient with a wandering spleen. *Clin Nucl Med* 1999; **24**: 458-459.
- Papakyriacou K, Nicolaou N, Symeonides P. Wandering spleen: a rare emergency condition. *Br J Surg* 1996; **83**: 50.
- Romero JR, Barksdale EM Jr. Wandering spleen: A rare cause of abdominal pain. *Ped Emerg Care* 2003; **19**: 412-414.
- Sayed S, Koniaris LG, Kovach SJ. Torsion of a wandering spleen. *Surgery* 2002; **132**: 535-536.
- Schaarschmidt K, Lempe M, Kolberg-Schwerdt A, Schlesinger F, Hayek I, Jaeschke U. The technique of laparoscopic retroperitoneal splenopexy for symptomatic wandering spleen in childhood. *J Ped Surg* 2005; **40**: 575-577.
- Schmidt SP, Andrews HG, White JJ. The Splenic Snood: an improved approach for the management of the wandering spleen. *J Ped Surg* 1992; **27**: 1043-1044.
- Seashore JH, McIntosh S. Elective splenopexy for wandering spleen. *J Ped Surg* 1990; **25**: 270-272.
- Sodhi KS, Saggar K, Sood BP, Sandhu P. Torsion of a wandering spleen: acute abdominal presentation. *J Emerg Med* 2003; **25**: 133-137.
- Spector JM, Chappell J. Gastric volvulus with wandering spleen in a child. *J Ped Surg* 2000; **35**: 641-642.
- Steinberg R, Karmazyn B, Dlugy E, Gelber E, Freud E, Horev G, Zer M. Clinical presentation of wandering spleen. *J Ped Surg* 2002; **37**: E30.
- Taori K, Ghonge N, Prakash A. Wandering spleen with torsion of vascular pedicle: early diagnosis with multiplaner reformation technique of multislice spiral CT. *Abdom Imag* 2004; **29**: 479-481.
- Tucker ON, Smith J, Fenlon HM, McEntee GP. Recurrent torsion of a wandering spleen. *Am J Surg* 2004; **188**: 96-97.
- Uc A, Kao SC, Sanders KD, Lawrence J. Gastric volvulus and wandering spleen. *Am J Gastroenterol* 1998; **93**: 1146-1148.
- Ugolini G, Potenti FM, Pricolo VE. Gastric outlet obstruction secondary to wandering spleen. *Surgery* 2000; **128**: 480-481.

Acerca del problema mente-cuerpo

Dr. Joaquín Ocampo Martínez
Profesor investigador de Carrera Definitivo TC
Departamento de Historia y Filosofía de la Medicina
Facultad de Medicina
Universidad Nacional Autónoma de México

Título corto:
El problema mente-cuerpo

Correspondencia:
Dr. Joaquín Ocampo Martínez
Departamento de Historia y Filosofía de la Medicina
Facultad de Medicina UNAM
e-mail:joaquinocampo@yahoo.com

El abordaje del problema mente-cuerpo plantea la necesidad de dar respuesta, entre otras, a ciertas preguntas, al menos desde una primera aproximación.

¿Qué es la mente y qué relación tiene con el cuerpo? ¿Se puede conocer la dinámica de la mente a través de la ciencia actual, o debemos seguir aproximándonos a ella a través de la filosofía, en tanto no se perfeccione la metodología científica?

En esta reflexión, conviene mencionar, que cada uno de nosotros es un ser complejo que puede hacer muchas cosas. Nos podemos mover, caminar, nadar, emitir sonidos y tener muchas otras actividades corporales. Tenemos claro que poseemos un cuerpo estudiado por las ciencias morfológicas, donde ocurren muchos procesos biofísicos y bioquímicos, y por tanto fisiológicos, que nos permiten actuar y mantenernos vivos. Pero además hay muchas cosas que podemos hacer y que no son actividades corporales. Podemos soñar, pensar sobre ciertos objetos, tomar decisiones, desear algo, sufrir por la pérdida de un ser querido, enamorarnos de alguien, etc. Cuando nos referimos a esta clase de hechos decimos, sin ningún cuestionamiento previo, que pertenecen a la esfera mental y no a la corporal.

Cuando movemos bruscamente un brazo ante el contacto con una plancha caliente, aun sin haberla visto, decimos que hay un acto reflejo en cuya producción hay un componente aferente y otro eferente, mediado por cuerpos neuronales de la sustancia gris de la médula espinal, y por lo tanto es un movimiento involuntario e inconsciente. Sin embargo, ese mismo movimiento brusco realizado intencionalmente ante una determinada circunstancia, ya no es un acto reflejo, porque ha necesitado para su realización de estructuras corticales relacionadas de alguna manera con el fenómeno de la voluntad, es decir, que tal movimiento requiere de un proceso mental inmediato previo a su realización.

Por otra parte hablamos también del estado mental de un sujeto, cuando decimos que está contento o angustiado, o que es un enfermo mental cuando tiene alucinaciones auditivas o visuales, amnesia u otros trastornos.

Cualquiera de nosotros no sólo es un cuerpo complejo, sino una entidad con algo más, "la mente", que pareciera distinta y completamente diferente al cuerpo. Hay inclusive quienes en el terreno de la religión han creído que el individuo es su mente y no su cuerpo. Buddha decía, por ejemplo: yo, no soy mi cuerpo, la prueba está en que mi cuerpo enferma aunque yo no quiera. Sin embargo, en nuestra vida cotidiana no solo tratamos a una persona como un cuerpo y una mente juntos, sino que también tratamos de explicarnos en cierta medida su comportamiento corporal y el funcionamiento de su mente, y al hacerlo, tendemos a establecer que hay una relación necesaria entre su mente y su cuerpo, y en el ámbito de la medicina que se basa en un saber científico-técnico, hay elementos para suponer que ciertos fenómenos mentales pueden afectar al cuerpo y que a su vez, ciertos fenómenos corporales pueden afectar a la mente del sujeto⁴.

El problema de la relación mente-cuerpo es importante para la filosofía, porque el objetivo central del quehacer filosófico, siempre ha sido formarnos el mejor juicio posible acerca de lo que es el hombre en sus relaciones con el mundo, y también sobre la clase de vida que debiera llevar. El primer aspecto compete a la metafísica y el segundo a la ética, dos de las principales áreas de reflexión dentro de la filosofía. Ya se ha señalado que la reflexión filosófica sobre el problema mente-cuerpo es fundamental, puesto que forma parte integral de cualquier sistema de pensamiento racional que se quiera plantear acerca de la naturaleza humana.

Afirmar desde una visión religiosa basada en la mera creencia y en la fe, que la mente es un alma o espíritu que tiene una

existencia propia independiente del cuerpo; que es inmortal e inmaterial y que puede reencarnar en otros cuerpos, no es lo mismo que tratar de dar una respuesta objetiva al problema mente-cuerpo, desde las consideraciones de un enfoque científico y filosófico basado en argumentos racionales. Tampoco es lo mismo partir de la creencia religiosa de que un ser divino creó al hombre dotándolo de un alma o espíritu, es decir, de una mente y de una vida que le dirige y le quita cuando él así lo dispone, que dar una explicación racional sobre el ser del hombre, a partir de nuestras propias facultades y posibilidades de conocer el universo, aun con las limitaciones que ello pudiera tener. La respuesta al problema mente-cuerpo basada en creencias religiosas y teológicas, o bien, fundamentada en argumentos científicos y filosóficos determina el tipo de noción que tengamos acerca del hombre, su comportamiento y su futuro².

Es desde una perspectiva racional que se ha conceptualizado a la mente -con algunas variantes-, como un conjunto de actividades y procesos psíquicos conscientes o inconscientes especialmente de carácter cognitivo que incluye sensaciones, percepciones, pensamientos; memoria, imaginación y creencias; voluntad, es decir, intenciones, decisiones y propósitos. Además se ha establecido que a la mente pertenecen los deseos, sentimientos, estados de ánimo, y la conciencia en todas sus manifestaciones, es decir, como vigilia, como consciencia de sí mismo y sentido de autoconservación y como posibilidad de distinguir entre bueno y malo, es decir, consciencia moral. Se incluyen además a la inteligencia y al raciocinio. Esto significa que los vertebrados superiores filogenéticamente más cercanos al hombre presentan también algunos procesos mentales.

En el devenir de la filosofía, la búsqueda de una explicación racional en torno al problema mente-cuerpo se ha dirigido a dilucidar si la mente es de naturaleza material o inmaterial y desde luego si tiene o no una relación con el cuerpo, y de haberla, determinar cuál es la naturaleza de esta relación. De esta manera se ha transitado de las concepciones llamadas dualistas, hasta las tesis contemporáneas más bien monistas del Conductismo y del llamado Materialismo de Estado Central.

Las doctrinas dualistas son aquellas que han sostenido que el cuerpo es material y la mente inmaterial, por lo tanto atribuyen al hombre una naturaleza dual. Se han formulado dos tipos de dualismo: uno que afirma que mente y cuerpo interactúan y otro que niega tal interacción. En cualquier caso, un cuerpo está asociado siempre a una mente y sólo a una. Cada mente pertenece al cuerpo a través del cual percibe y actúa y a ningún otro.

Son clásicos y muy conocidos los planteamientos del llamado dualismo interaccionista cartesiano -como se denomina a las tesis que René Descartes formuló en el siglo XVII-, sobre el problema mente-cuerpo y que se encuentran desarrolladas principalmente en dos de sus obras: "Meditaciones Metafísicas" y "Tratado del Hombre". Según el pensamiento cartesiano el cuerpo es una entidad material (*res extensa*) mientras que la mente es una entidad inmaterial (*res cogitans*). Sin muchos argumentos, Descartes creía que la mente se encuentra alojada en la epífisis o cuerpo pineal. No afirmó que esta estructura fuera la mente, sino que según él sirve como un punto de articulación que permite que cuerpo y mente interactúen causalmente, uno afectando a la otra y viceversa. De esta manera es que el filósofo francés señala que la mente interactúa sólo con el cerebro, pero la mente no es el cerebro^{6,7}.

Dentro de esta concepción dualista mente-cuerpo, pero a diferencia de Descartes, Nicolás Malebranche postuló en la segunda mitad del siglo XVII en su obra "Diálogos sobre

metafísica y religión", que si bien es cierto que mente y cuerpo coexisten en el hombre, estos no interactúan y por lo tanto no se afectan mutuamente. Decía que lo corporal y lo mental ocurren siempre por pasos, en forma siempre paralela, pero sin ninguna relación de tipo causal entre ambos. De ahí que a esta forma de dualismo -no interaccionista-, se le conozca también como Paralelismo ¹¹. Entre los siglos XVII y XVIII Gottfried Leibniz afirmó en su obra "Escritos Filosóficos y Cartas" que este paralelismo se explica por la existencia de una armonía preestablecida, pero no dio ninguna explicación racional al origen de tal armonía ¹⁰.

Con el desarrollo de la filosofía positivista en la primera mitad del siglo XIX se comenzó a plantear otra forma de dualismo que en algún sentido superó a los anteriores. Fue el llamado epifenomenalismo formulado por el evolucionista inglés Thomas Huxley. En su obra "Método y Resultados" sostiene que: *"En nosotros todos los estados de conciencia ..., son causados de manera inmediata por cambios moleculares de la sustancia cerebral. Me parece que en los hombres, así como en los brutos (animales), no hay prueba de que algún estado de conciencia sea la causa del cambio que hay en el movimiento de la materia del organismo. Si estas posiciones están bien fundamentadas, se sigue que nuestras condiciones mentales son simplemente los símbolos (representaciones), en la conciencia, de los cambios que tienen lugar automáticamente en el organismo; y que, para tomar una ilustración extrema, el sentimiento que llamamos volición (intención) no es la causa de un acto voluntario, sino el símbolo de un acto del cerebro que es la causa inmediata del acto. Somos autómatas conscientes ..."* ⁹.

Como se puede notar, el epifenomenalismo es otra forma de plantear el dualismo mente-cuerpo. Difiere importantemente de los otros dualismos, en que se postula que los fenómenos mentales son epifenómenos, es decir, fenómenos accesorios que acompañan a un fenómeno principal pero que no tienen influencia sobre él. En otras palabras, los procesos mentales son expresiones de la funcionalidad del cerebro, pero no tienen ningún otro efecto sobre ninguna otra cosa. Así el epifenomenalismo de Huxley establece que la interacción mente-cuerpo ocurre en una sola dirección, del cuerpo a la mente pero no a la inversa. Por otro lado es importante señalar que el epifenomenalismo resuelve el problema de la forma en que se relacionan la mente y el cuerpo, apelando justamente a los procesos fisiológicos y bioquímicos que tienen lugar en el cerebro y no a fuerzas extrañas o divinas.

Sin embargo, como ocurre con las otras formas de plantear el dualismo mente-cuerpo, al epifenomenalismo se le pueden hacer algunas objeciones. Una de ellas es que no hay argumentos sólidos para sostener que los procesos mentales no producen efectos en la actividad corporal de los individuos. Si así fuera, el devenir de la humanidad hubiera sido uniforme, sin cambio ni ruptura alguna. Si las angustias, odios, placeres, gustos, metas e ideales de los seres humanos no hubieran sido el motor de sus acciones, la humanidad al igual que los grupos animales carecería de historia.

Aunque el epifenomenalismo sigue planteando un dualismo mente-cuerpo es indudable que constituye una transición hacia un monismo, a través de una explicación materialista de la relación mente-cuerpo, en donde tanto uno como otro se explican en términos materialistas, si bien, no puede pasarse por alto que desde el siglo XVII, otro filósofo inglés, Thomas Hobbes, ya había hecho consideraciones en ese sentido planteando que si la mente es algo inmaterial, o bien no existe, o es totalmente idéntica a algo material. Hobbes no negó la existencia de los fenómenos

mentales, más bien los redujo a procesos dinámicos en una dimensión material ⁸.

La doctrina conductista aparecida en la segunda mitad del siglo XX, con Burrhus Skinner a la cabeza planteó de manera radical, que la mente no existe. Por lo tanto carece de sentido tratar de encontrar la relación entre el cuerpo y algo que no existe. Señala el conductismo que las conductas humanas sólo pueden describirse ¹². Las descripciones de conductas que corresponden a lo que comúnmente se conoce como esfera mental, no son descripciones de la mente sino de la conducta corporal y de sus disposiciones para actuar. Por ejemplo, sentir dolor es tener la disposición para exhibir un número razonable de conductas como quejarse, llorar, sobar la parte afectada, cerrar los ojos, etc. Las diferencias entre los llamados estados mentales, dicen los conductistas, son solamente las diferencias entre patrones de conducta. Los términos que se usan para referirse a "lo mental" como arrogancia, sufrimiento, envidia, felicidad, odio etc., carecen de sentido si no tienen un referente empírico, es decir, una conducta observable.

Se ha criticado al Conductismo que si bien pretende abordar el problema mente-cuerpo desde una perspectiva científica, sólo determina cómo funciona el cuerpo al producir las conductas que describimos con términos mentales como dolor, alegría, preocupación, etc., y propone una psicología avanzada que pueda establecer leyes que conecten estímulos y respuestas en todas las fases de la conducta humana desarrollando, a la par, una fisiología que señale cuáles son los enlaces nerviosos entre ellos ⁵.

Por otro lado, la descripción de lo mental no se puede reducir a conductas corporales porque son específicas e individuales, en tanto que lo mental es algo vago, abierto y muy subjetivo. Un individuo puede estar sufriendo y no manifestar alguna conducta corporal que lo demuestre o que corresponda a conductas observables de sujetos que sí externan su sufrimiento.

El Conductismo no acepta que los sucesos, procesos o estados mentales jueguen un papel causal en la producción de la conducta que constituye una manifestación de ese suceso o estado mental. Para los conductistas el estado mental es la conducta misma, no aceptan que dicho estado sea la causa de una conducta corporal. Así pues, el conductismo se aparta de las concepciones filosóficas clásicas y hasta del sentido común, al negar la subjetividad del ser humano. Si el dolor no es un estado mental causante de ciertas manifestaciones corporales y es la manifestación corporal misma ¿cómo se puede distinguir entre un cuadro de dolor auténtico y uno simulado? ¿cómo explicar que un sujeto "sienta" pena aunque no la manifieste corporalmente?

En las últimas décadas del siglo XX Brian Medlin entre otros, ha sostenido la llamada tesis del Materialismo de Estado Central donde se afirma, a diferencia del Conductismo, que los estados mentales son la causa de las conductas propiamente humanas y que lo que conocemos como mente constituye en sí una parte del cuerpo que muere junto con el. Este planteamiento recuerda al de Epicuro de Samos que en el siglo III a.n.e., negó lo sostenido por Platón, en cuanto a que la psique se aparta del cuerpo cuando el individuo muere. Para Epicuro de Samos, cuerpo y psique son un binomio indisoluble que está formado por átomos.

El Materialismo de Estado Central no niega que la mente sea algo pero rechaza que sea de carácter inmaterial o espiritual y agrega que la conducta humana se puede explicar totalmente en términos de sucesos concatenados dentro del sistema nervioso. Así, las causas del comportamiento corporal tienen lugar tanto en estructuras corticales como subcorticales del cerebro.

Desde esta perspectiva como señala Campbell "... *la mente forma parte del cuerpo. Constituye una parte especial, aquella que controla la conducta. Es decir, la parte que rige los movimientos de los miembros bajo la influencia tanto de sus propios estados (por ejemplo, los propósitos) como de la información obtenida por medios sensoriales en relación con el ambiente y la posición del cuerpo. La parte que realiza esto es el cerebro, conectado principalmente con los órganos sensoriales, que lo afectan, y con los músculos y glándulas a los que afecta*"³.

En estos términos el problema mente-cuerpo se convierte desde este enfoque, en un problema de metodología científica. Las neurociencias han aportado cada vez mayor información sobre este vínculo indisoluble entre mente y cuerpo. De esta manera lo mental es una forma especial de materia dentro de otra forma especial de materia que es el cuerpo. Lo mental no es un tipo de objeto inmaterial que guarda una relación misteriosa con la materia que constituye al cuerpo humano. Así como no hay dificultad para entender la relación entre un automóvil y su motor -ambos de carácter material-, esta tesis formula que no existe un problema especial mente-cuerpo más allá de los detalles científicos de la interacción causal entre los elementos de un sistema.

Por otra parte, el Materialismo de Estado Central a diferencia de las demás tesis acepta algo que es innegable: la existencia de una relación dialéctica y no lineal entre el sistema mente-cuerpo que es el ser humano y su entorno físico y social. Es evidente que las conductas corporales -no de carácter reflejo-, como respuestas al producto de sus relaciones con el ambiente físico y social surgen de las necesidades que enfrenta el sujeto y son consecuencia de procesos mentales innatos, que de alguna manera incorporan también elementos generados en la experiencia del hombre con el mundo. El éxito de nuestra especie en un ambiente tan hostil se ha debido, en una buena parte, a la capacidad que tenemos para aprender de esa experiencia

Una reflexión final es que, una crítica al Materialismo de Estado Central con todo y sus aciertos es que no es suficiente aún, para la construcción de una filosofía del hombre en toda su complejidad, porque sólo se basa en las tesis de la filosofía neopositivista que es el fundamento de toda la ciencia actual. Las neurociencias nos han demostrado que es en el cerebro en donde radican las funciones específicamente humanas, a través de la ablación de ciertas zonas del cerebro y de múltiples técnicas como el empleo de emisión de positrones o el uso de radioisótopos, dando fin al mito de la existencia del alma o espíritu, que lejos de constituir un conocimiento se ha quedado como todo mito, en el ámbito de la mera creencia.

Obviamente, las neurociencias tendrán que seguir desarrollando una tecnología que permita explicar con mayor detalle la naturaleza corpóreo-mental del hombre. Es un hecho que en la actualidad se conoce, en buena medida, la estructura y ultraestructura del cerebro así como diversos procesos biofísicos y bioquímicos que constituyen la fisiología del sistema nervioso en general, y se avanza en el conocimiento de aquellos sustratos y regiones anatómicas que participan en el momento en que el individuo realiza una actividad mental. Sin embargo, este conocimiento aún no explica cuál es el mecanismo de producción de una idea, o la serie de fenómenos bioquímicos o bioeléctricos que tienen lugar en la toma de una decisión o cómo puede explicarse en estos términos, el funcionamiento de la voluntad y de la elección entre bueno y malo. Más aún no explica de qué manera los seres humanos somos capaces de controlar -a través de la educación-, nuestros impulsos animales hacia los demás, en el contexto de nuestras relaciones sociales.

Desde luego que el desconocimiento actual de estos fenómenos tan complejos no justifica en ningún sentido, el regreso a la creencia y al mito. La historia de la ciencia en lo referente al conocimiento del hombre ha demostrado que es posible tener una idea objetiva de la realidad, en la medida en que se perfeccionan la metodología y la tecnología.

Por otro lado, el desarrollo de una idea del hombre como entidad corpóreo-mental en su interacción con el mundo es insoslayable, ante la necesidad de profundizar sobre una metafísica del ser humano, más allá de que los hallazgos de la ciencia en general -y no sólo de las neurociencias en particular-, nos demuestren finalmente que el hombre es sólo un sistema abierto pensante. Para ello se requerirá como siempre, del quehacer filosófico como posibilidad propia de los seres humanos que desde hace 2700 años ha abierto cauces, para orientar, en gran medida y de manera casi imperceptible, el destino de la humanidad.

Se ha dicho que el estudio del comportamiento del hombre, producto de la interacción mente-cuerpo, no puede llegar a ser una verdadera ciencia porque es incapaz de predecir o explicar una conducta en una determinada situación, basándose en leyes universales. Sin embargo, la vida no puede ser una excepción de la ley natural y se puede plantear que el comportamiento humano se explicará en su totalidad, si se llegan a conocer todos los elementos que intervienen.

Como señala Asimov: "... *el hombre no precisa renunciar a la comprensión de sí mismo. Existe un amplio espacio para un mejor conocimiento de sus propias complejidades mentales, y aun cuando nunca podamos llegar al final de la senda, tenemos la esperanza de recorrer un largo trecho por ella*"¹.

Referencias bibliográficas

1. Assimov I. Introducción a la ciencia. Parte II. Ediciones Orbis S. A. Barcelona. 1973, pag. 771.
2. Campbell K. Cuerpo y mente. Universidad Nacional Autónoma de México. 1987, pag. 12.
3. Campbell K. op. cit. pag. 83.
4. Cornman JW, Pappas GS y Lehrer K. Introducción a los problemas y argumentos filosóficos. Universidad Nacional Autónoma de México. 1990, pag. 240.
5. Cornman J W. op. cit., pags. 302-306.
6. Descartes R. Meditaciones metafísicas. Porrúa. México. 1979, pags. 41-90.
7. _____ Tratado de las pasiones del alma. RBA Editores. Barcelona. 1994, pags. 100-104.
8. Hobbes T. Leviatán. Citado por Cornman JW op. cit., pags. 288-289.
9. Huxley TH. Methods and results. Citado por Cornman JW op. cit., pag. 277.
10. Leibniz GW. Philosophical Papers and Letters. Citado por Cornman JW op. cit. pags. 274-275.
11. Malebranche N. Dialogues on Methaphysics and on Religión. Citado por Campbell K op. cit., pag. 53.
12. Skinner B. Science and Human Behavior. Citado por Campbell K op. cit., pags. 57-71.

Estatus del embrión humano

Manuel Arteaga Martínez *, Isabel García-Peláez,
Samuel P. Gallegos Serrano
Departamentos de Anatomía y de Biología Celular y Tisular
Facultad de Medicina
Universidad Nacional Autónoma de México y
Escuela de Medicina de la Universidad Panamericana.
México, D.F.

Título corto:
Estatus del embrión

Correspondencia:
Dr. Manuel Arteaga Martínez
Departamento de Anatomía
Facultad de Medicina UNAM
Ciudad Universitaria
04510 – México, D.F.
Tel. 56-23-24-22
E-mail: manuelarteagamartinez@yahoo.com

La vida y desarrollo del hombre es un proceso continuo que se inicia en el momento que un óvulo es fertilizado por un espermatozoide y concluye con la muerte del individuo. Se divide en dos etapas o periodos: la etapa prenatal y la postnatal, separadas entre sí por el nacimiento, y básicamente diferenciados por el medio ambiente que rodea al organismo^{3,5,9,10,12}. Así pues, es erróneo el pensar que el nacimiento marca el inicio de la vida del hombre, ya que ésta comenzó varios meses antes, y por tanto el nacimiento debe ser considerado sólo como un momento dramático en su vida, en el cual el individuo deja el claustro materno para enfrentarse al ambiente extrauterino en el que continuará hasta su muerte. Durante la etapa prenatal el hombre adquiere la forma de todas y cada una de las partes de su cuerpo e inicia la función en forma parcial o total de sus aparatos y sistemas, que lo preparan para la vida independiente que tendrá después del nacimiento; esta etapa prenatal, el hombre normalmente la cubre en 38 semanas (9 meses lunares)^{3,5,9,10,12}.

El proceso de formación de un hombre va precedido por la producción y maduración de los gametos: el **óvulo** y el **espermatozoide**, que se originan en el epitelio germinal del ovario y del testículo de sus progenitores. Durante su formación, los gametos sufren un proceso especial de división celular llamada **meiosis** que permite que cada gameto separe al azar su material genético, reduciendo a la mitad el número de sus cromosomas. Durante la fertilización (Fig. 1), al unirse el óvulo y el espermatozoide, se restituye el número total de cromosomas de la especie dando lugar al inicio de la vida de un **nuevo individuo** que es el resultado de la combinación genética de sus padres, y que por ningún motivo debe ser considerado sólo como una célula materna altamente especializada, tal como lo contemplan algunas personas del mundo médico y/o político.

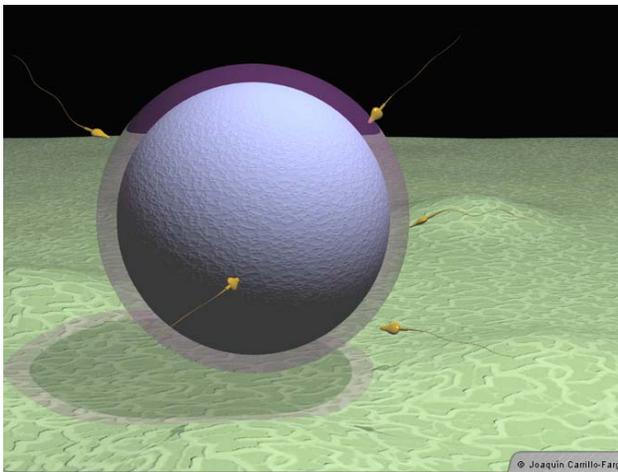


Fig. 1. Esquema mostrando al óvulo y al espermatozoide en el inicio del proceso de la fecundación (CYBERCELL, con permiso de J. Carrillo-Farga).

La **fertilización** comprende el paso del espermatozoide a través de la membrana pelúcida que rodea al óvulo, la penetración de la membrana ovular, la formación y fusión de los pronúcleos masculino y femenino, y el intercambio del material genético de dichos pronúcleos para dar lugar a un nuevo y diferente grupo de cromosomas que regirán la vida y desarrollo del nuevo individuo que así ha iniciado su desarrollo. Este proceso ocurre aproximadamente 12 horas después de que el óvulo maduro ha sido liberado del ovario materno y normalmente acontece en el

interior de las trompas o tubas uterinas de la madre. Cuando la fertilización ha ocurrido se forma un **huevo** o **cigoto**^{3,5,7, 9,10,12}.

A partir de este momento se inicia el periodo de **segmentación**, mediante el cual el cigoto por rápidas divisiones mitóticas comienza a formar un organismo multicelular (Fig. 2 A). Cada una de las células hijas recibe el nombre de **blastómero**, una de cuyas características esenciales es la de ser fenotípica y genotípicamente semejantes y, en sus etapas iniciales (2 a 4 células), ser totipotenciales, es decir con capacidad cada una de ellos de dar origen a un organismo completo. Esta etapa de segmentación ocurre en el interior de las trompas uterinas y dura de 4 a 5 días, terminando con la formación de una esfera sólida de células llamada **mórula**^{1,3,5,7, 9-12}.

Entre el 6º y 7º día, la mórula sufre una remodelación quedando un espacio interior rodeado por células, y a esta formación se le llama **blastocisto**; en un polo del blastocisto quedan las células formadoras del embrión, también llamado **embrioblasto** (Fig. 2 B). Uno o dos días después, las células del embrioblasto se reorganizan formando una estructura discoidal con dos capas de células, el epiblasto y el hipoblasto, constituyendo el **disco embrionario bilaminar**^{1,3,5,7, 9-12} (Fig. 2 C); es en esta etapa que el blastocisto alcanza la cavidad uterina e inicia su implantación en el endometrio.

Durante la 2ª semana (8º a 14º día) el blastocisto se implanta en el endometrio y comienzan a desarrollarse los anexos embrionarios (placenta, saco vitelino, etc.), y el embrioblasto da lugar al **ectodermo**, **mesodermo** y **endodermo** alcanzándose la etapa de **gástrula**^{1,3,5,7, 9-12} (Fig. 2 D). Es importante resaltar que durante estas dos primeras semanas de la vida, si bien el producto de la concepción aún no tiene una forma "humana", si lo es desde el punto de vista genético, ya que es el resultado de la combinación de los genes maternos y paternos; si esta combinación es correcta, el desarrollo del nuevo organismo va por buen camino, pero si

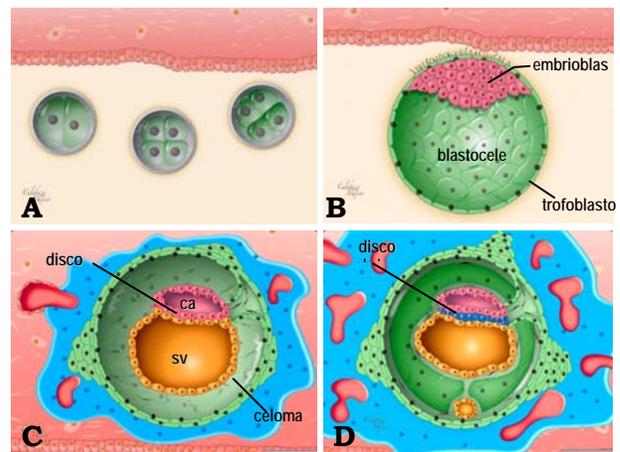


Fig. 2. Esquemas mostrando diferentes momentos del desarrollo embrionario presomítico. A) Etapa de segmentación ilustrando la formación de los primeros blastómeros. B) Etapa de blastocisto temprano: corte para mostrar en el interior del blastocisto el embrioblasto o macizo celular interno y la cavidad celómica, ambos rodeados por el trofoblasto. C) Etapa de disco embrionario bilaminar: nótese al disco embrionario entre las cavidades amniótica y vitelina, y alrededor de ellos el celoma extraembrionario. D) Etapa de disco embrionario trilaminar. (CYBERCELL, con permiso de J. Carrillo-Farga). ca = cavidad amniótica; sv = saco vitelino

ocurre algún trastorno en el reparto del material genético durante la maduración de los gametos o en las primeras etapas de segmentación, la situación puede ser grave para el desarrollo subsecuente. Algunas de las alteraciones así producidas pueden hacer al embrión inviable para el desarrollo ulterior y le provocan la muerte, mientras que otras sólo le provocan trastornos morfológicos o funcionales, algunos de los cuales en la actualidad

es posible corregirlos o al menos mejorarlos después del nacimiento.

En la 3ª semana el disco embrionario comienza a flexionarse, iniciándose la **etapa embrionaria somítica**, en la cual el embrión adopta una forma tubular, morfología que acentuará y conservará durante su vida futura^{3,6,9,12}. Es a finales de la 3ª semana (Fig. 3 A) en que los primeros órganos comienzan a formarse: el Sistema Nervioso Central y el aparato cardiovascular. Entre la 3ª y 8ª semanas ocurre el denominado **periodo de organogénesis**, durante el cual el **embrión** va presentando múltiples cambios en su apariencia externa (Fig. 3) e internamente va formando sus diferentes órganos, que lo preparan para las etapas posteriores^{3,6,9,12}. Los cambios están ocurriendo de manera constante, y la morfología del embrión en un día determinado es diferente a la que presentaba el día anterior y diferente también a la que presentará el día siguiente; en términos generales, el aspecto externo del embrión humano durante este periodo – especialmente durante las primeras semanas - es muy similar y casi indistinguible al que presentan otras especies⁷, pero genéticamente corresponde a la especie humana. Es en este periodo de organogénesis, en que el embrión es sumamente lábil a la acción de agentes nocivos (teratógenos) que pueden alterar el desarrollo de una o más estructuras, dando lugar a alteraciones - leves, moderadas o severas - que pueden o no permitir la supervivencia del embrión, pero que muchas de las cuales, como antes se mencionó, son susceptibles de tratamiento quirúrgico postnatal.

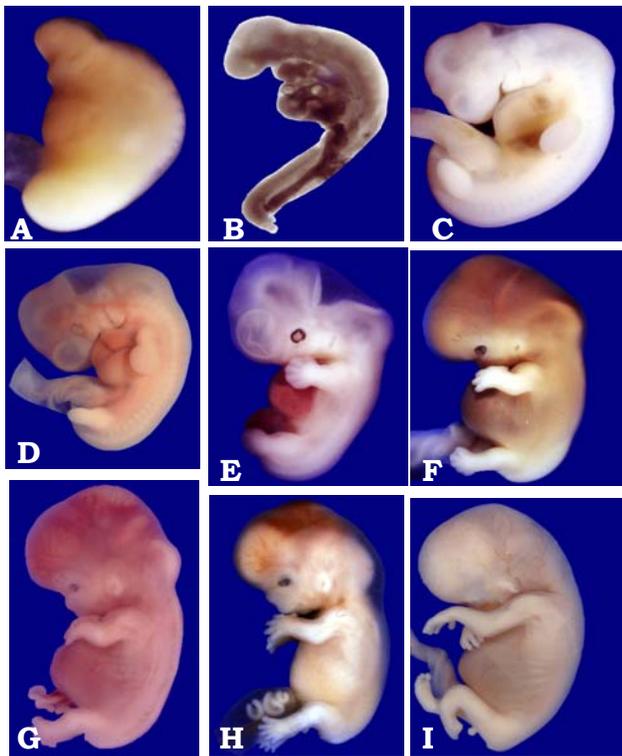


Fig. 3. Embriones humanos de la 4ª a la 8ª semana. A) 4ª semana, estadio 11. B) 4ª semana, estadio 12. C) 5ª semana, estadio 14. D) 6ª semana, estadio 16. E) 7ª semana, estadio 18. F) 7ª semana, estadio 20. G) 8ª semana, estadio 21. H) 8ª semana, estadio 22. I) 8ª semana, estadio 23.

De la 9ª a la 38ª semana ocurre el **periodo fetal**, durante el cual el producto de la concepción o **feto** muestra pocos cambios en cuanto a su morfología externa (Fig. 4), pero en cambio si experimenta un crecimiento rápido en todos sus diámetros y

longitudes, con lo cual crece en volumen y peso en forma considerable, características que permiten determinar su edad postfertilización^{2,3,8,9,12}. En esta etapa todas aquellas estructuras que iniciaron su desarrollo en el periodo embrionario crecen y maduran anatomofuncionalmente para preparar al organismo para la vida postnatal.

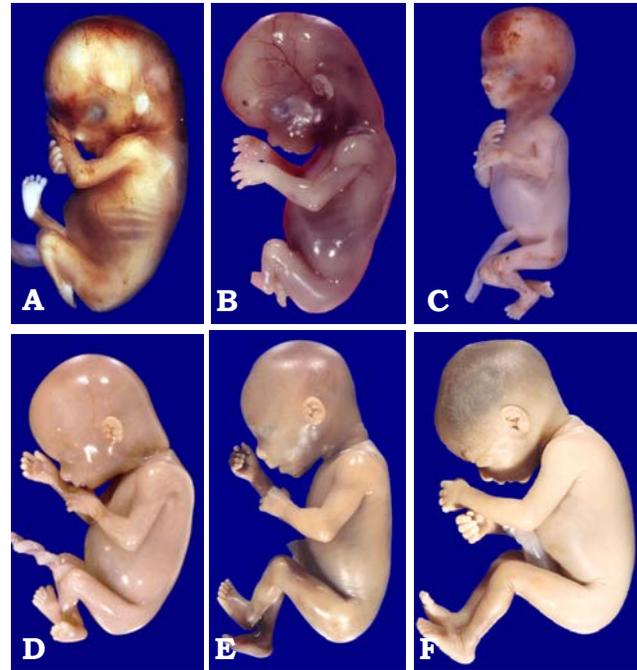


Fig. 4. Fetos humanos de la 9ª a la 19ª semana. A) 9ª semana. B) 10ª semana. C) 12ª semana. D) 13ª semana. E) 17ª semana. F) 19ª semana.

Mucho se ha especulado de que si una u otra etapa del desarrollo prenatal es más importante que las otras y de sí en una u otra, el embrión o feto, es más susceptible ante la posible agresión de un agente mórbido (agente teratógeno, enfermedad materna, etc.), e incluso se ha cuestionado en que momento el embrión o feto en formación puede ser considerado un "individuo". De la breve y resumida descripción antes dada, podemos percatarnos de que todas y cada una de las etapas del desarrollo prenatal es tan importante como las otras, y que constituyen un proceso secuencial, progresivo e irreversible, que determina que una alteración en un momento determinado afecte a manera de "cascada" la formación y/o función del embrión o feto en desarrollo.

Pero, ¿el embrión puede ser considerado como una persona aún cuando no haya nacido?, ¿o a pesar de que su apariencia sea diferente a la que conocemos después del nacimiento?, ¿sentirá e incluso sufrirá el embrión antes de nacer? Definitivamente, desde nuestra perspectiva, la respuesta es "sí" a todas estas interrogantes. El embrión desde el momento mismo de su concepción puede y debe ser considerado como un nuevo individuo de la especie humana⁴ y no sólo como una parte o apéndice de su madre, ya que genéticamente es el resultado de la combinación de los genes maternos y paternos, que lo hacen diferente a sus progenitores. Por esto, desde el momento mismo de la fertilización, ya constituye un nuevo individuo y como tal debe ser considerado y respetado, con los mismos derechos que establecen las leyes para todos los hombres, empezando por el más elemental e importante de todos: **su derecho a la vida**.

Referencias bibliográficas

1. Arteaga M, García-Peláez I, Errasti T, Herrera P, Pérez-Pineda H, Saavedra D. Desarrollo prenatal humano. I. Aspectos generales. Periodo pre-embriionario. *Lab-Acta* 1993; **5**: 19-21.
2. Arteaga M, García-Peláez I, Herrera P, Errasti T, Chavira S, Saavedra D. Antropometría fetal normal de la 9ª a 20ª semanas del desarrollo. *Perinatol Reprod Hum* 1997; **11**: 21-32.
3. Carlson BM. *Embriología Humana y Biología del Desarrollo*. Tercera edición. Elsevier. Madrid, 2005.
4. Dunstan GR, Sellar MJ. *The status of the human embryo. Perspectives from moral tradition*. King Edward's Hospital Found for London. Londres, 1990.
5. England MA. *A Colour Atlas of Life Before Birth*. Wolf Medical Publications LTD. Londres, 1983.
6. García-Peláez I, Saavedra D, Errasti T, Pérez-Pineda H, Herrera P, Arteaga M. Desarrollo prenatal humano. II. Periodo embriionario. *Lab-Acta* 1993; **5**: 22-28.
7. Gilbert SF. *Biología del Desarrollo*. 7ª edición. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires, 2005.
8. Herrera P, García-Peláez I, Chavira S, Saavedra D, Arteaga M. Variables cualitativas del desarrollo humano normal de la 9ª a 20ª semanas de gestación. *Perinatol Reprod Hum* 1997; **11**: 152-160.
9. Moore KL, Persaud TVN. *Embriología Clínica*. 7ª edición. Elsevier. Madrid, 2004.
10. Nilsson L. *Nacer. La Gran Aventura*. Editorial Salvat. Barcelona, 1990.
11. O'Rahilly R. *Developmental Stages in Human Embryos, Including a Survey of the Carnegie Collection. Part A: Embryos of the First Three Weeks (stages 1 to 9)*. Carnegie Institution of Washington, Washington, 1973.
12. Sadler TW. *Langman Embriología Médica con Orientación Clínica*. 10ª edición. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires, 2007.