



Medicent Electrón. 2025;29:e4383

ISSN 1029-3043

Artículo de Revisión

Técnicas morfométricas aplicadas al estudio del corazón embrionario

Morphometric techniques applied to the study of the embryonic heart

Mirka Navas Contino^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-0017-1155>

María Amée Vilas Bormey¹ <https://orcid.org/0000-0001-8624-1945>

Nélida Ludivina Sarasa Muñoz¹ <https://orcid.org/0000-0002-5953-5361>

¹Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara. Cuba

*Autor para la correspondencia: Correo electrónico: navascontino@gmail.com

RESUMEN

Introducción: Las ciencias morfológicas tienen grandes retos presentes y futuros respecto al conocimiento, cada vez más detallado, del embrión y del feto, como fundamento teórico y referencia necesaria. En el empeño por profundizar en el conocimiento de los procesos que caracterizan el inicio de la vida humana, la morfología cualitativa se enriquece con métodos cuantitativos basados en conteo y mediciones. En este sentido, resulta interesante el acercamiento a las técnicas cuantitativas.

Objetivo: El presente artículo se propone profundizar en las técnicas morfométricas aplicadas al estudio del corazón embrionario.



Métodos: Se realizó una revisión documental de la literatura científica actualizada acerca de este tema. Se estudió un total de 61 trabajos, de ellos se seleccionaron 29 como muestra. Se aplicó el método analítico-sintético en la redacción del informe final.

Conclusiones: Teniendo en cuenta el insuficiente referente cuantitativo sobre el proceso de desarrollo, resulta necesario el conocimiento preciso de la morfometría del corazón embrionario; en busca de indicadores cuantitativos que puedan enriquecer el cuerpo teórico de la embriología humana, y servir de referentes para el perfeccionamiento de la ecografía diagnóstica y el desarrollo de la medicina embriofetal.

DeCS: biometría; corazón; estructuras embrionarias; cardiología.

ABSTRACT

Introduction: morphological sciences have major current and future challenges regarding the increasingly detailed knowledge of the embryo and fetus as a theoretical foundation and necessary reference. In the effort to deepen the knowledge of the processes that characterize the beginning of human life, qualitative morphology is enriched with quantitative methods based on counting and measurements. In this sense, the approach to quantitative techniques is interesting.

Objective: to delve into morphometric techniques applied to the study of the embryonic heart.

Methods: a documentary review of the updated scientific literature on this topic was carried out. A total of 61 works were studied; 29 of them were selected as a sample. The analytic-synthetic method was applied in writing the final report.

Conclusions: a precise knowledge of the morphometry of the embryonic heart is necessary taking into account the insufficient quantitative reference on the development process in order to search of quantitative indicators that can enrich the theoretical body of human embryology and serve as references for the



improvement of diagnostic ultrasound and the development of embryo-fetal medicine.

MeSH: biometry; heart, embryonic structures; cardiology.

Recibido: 15/04/2025

Aprobado: 10/11/2025

INTRODUCCIÓN

En los estadios iniciales de la vida del organismo humano ocurren procesos que permiten que miembros individuales de una masa celular, con apariencia homogénea en un principio, sigan distintas vías de diferenciación interrelacionadas en espacio y tiempo; coordinados y controlados por una red de genes reguladores que comienzan a funcionar apenas formado el cigoto.⁽¹⁾

Al término del periodo embrionario, el 90% de los órganos y sistemas internos del cuerpo humano se hallan conformados, y externamente ha alcanzado una forma parecida a la definitiva. Para que ocurra tal cúmulo de eventos en tan limitado periodo de tiempo, cada momento en la formación del nuevo organismo tiene que distinguirse del precedente y del sucesivo. Por ello, los estudios de caracterización morfológica en este periodo no son muy abarcadores en el tiempo ni en la variedad de órganos.⁽²⁾

En la práctica médica habitual suele ocurrir que el embrión, por sus pequeñas dimensiones, especificidad estructural y características histológicas diferenciales, escapa de los métodos de investigación anatomopatológicos tradicionales; lo que obstaculiza el conocimiento de interesantes evidencias morfofuncionales de tan significativo periodo de la vida.^(3,4)



En el empeño por profundizar en el conocimiento de los procesos que caracterizan el inicio de la vida humana, la morfología cualitativa se enriquece con métodos cuantitativos basados en conteo y mediciones: absolutos o relativos, directos o indirectos, que permiten asignar valores a las dimensiones de las estructuras y detectar variaciones mínimas de sus características morfofuncionales; lo que favorece la exactitud y precisión de los diagnósticos.⁽⁵⁾

Poder visualizar el saco gestacional desde la quinta semana, o la imagen general de un embrión de apenas tres milímetros de longitud, son evidencias de un acercamiento al organismo en desarrollo. Si a esto se añade el carácter tomográfico de las imágenes obtenidas con técnicas ecográficas y las posibilidades de realizar estudios, tanto de superficie como de profundidad, según la región de interés en el cuerpo de embriones y fetos, se comprende lo útil de los conocimientos que puedan obtenerse a partir de estudios morfométricos.^(6,7)

En los últimos años, por su interés científico, el embrión (en especímenes muertos) ha sido estudiado mediante estas técnicas, con el objetivo de realizar evaluaciones cuantitativas con proyección espacial bidimensional. Los resultados de estudios morfométricos a partir de embriones humanos son escasos, a escala nacional e internacional; al parecer por limitaciones en la obtención de muestras apropiadas y por el cúmulo de obstáculos que se presentan en el orden metodológico para emprender trabajos que tributen a las necesidades de la práctica médica actual, máxime cuando se trata de la especie humana.^(8,9)

El desarrollo de la medicina del embrión exige conocimientos precisos de su morfología y morfometría, que sirvan de referencia para el diagnóstico prenatal histopatológico y ecográfico. Estas razones justifican los esfuerzos que amplíen progresivamente el campo del conocimiento cuantitativo del organismo humano en esta etapa tan temprana de la vida. Los estudios morfológicos acerca de esta etapa del desarrollo se tornan cada vez más necesarios para el conocimiento profundo que exige el perfeccionamiento del diagnóstico y la terapéutica embrionaria y fetal.⁽¹⁰⁾



En tal sentido, puede resultar de interés un acercamiento a las técnicas cuantitativas. Por lo que el presente artículo se propone como objetivo profundizar en las técnicas morfométricas aplicadas al estudio del corazón embrionario.

MÉTODOS

Se realizó una revisión documental de la literatura científica actualizada sobre el tema, y se aplicó el método analítico-sintético para la confección del informe final. Se revisaron 61 trabajos en idioma español e inglés, en el periodo comprendido entre enero de 2023 y agosto de 2024: 48 artículos, 9 libros, 2 tesis doctorales y 2 páginas Web.

Se emplearon los recursos disponibles en la red Infomed para la selección de la información, específicamente: PubMed, SciELO, Google Académico y Dialnet; a través de las bases de datos: Medline, Academic, Search Premier, MedicLatina. Además, se empleó Scopus, LILACS y CUMED. Se utilizaron, como criterio de inclusión y búsqueda, las palabras clave: morfometría, corazón embrionario, cardiogénesis.

Se seleccionó un total de 29 fuentes bibliográficas para la confección del presente artículo; de ellos 14 artículos originales, 9 artículos de revisión, 4 libros de texto, 1 tesis doctoral y 1 página web; puesto que brindaban una información no reiterada y más completa. Se excluyeron los trabajos que solo permitían descargar el resumen del texto y los que tenían duplicidad en la información. El nivel de actualización, en lo referente al tema estudiado, la calidad de los artículos publicados y la fiabilidad de la fuente, se utilizaron como criterios de selección.



DESARROLLO

La aplicación de técnicas morfométricas en estudios del corazón embrionario ha permitido explorar variables lineales, bidimensionales y tridimensionales, lo que proporciona mayor información de los complejos procesos del desarrollo de este órgano, cuyas malformaciones tienen un impacto significativo en la morbilidad perinatal.^(11,12)

Las ciencias morfológicas se enfrentan a grandes retos presentes y futuros en el conocimiento cada vez más detallado del embrión y del feto, como fundamento teórico y referencia necesaria. Ian Donald, pionero de la ecografía obstétrica ha expresado: «Estamos particularmente interesados en estudiar las primeras doce semanas del desarrollo intrauterino que son, incluso, más interesantes que las últimas doce semanas. Con seguridad es el periodo más crucial de la existencia de cualquier ser.»⁽¹³⁾

La biología molecular enseña que las interacciones proteicas crean formas. El problema de la biología es el problema de la forma, y por tanto, la embriología es la parte de la biología encargada de estudiar los cambios de esas formas durante el desarrollo prenatal.⁽¹⁴⁾

No obstante, el objetivo final de esta disciplina no es averiguar cómo la diferente lectura de la información genética conduce a la síntesis de una determinada proteína en el embrión, ni tampoco comprender los mecanismos que regulan, con precisión exquisita, el ritmo de localización de las mitosis en las diferentes regiones de un tejido en desarrollo, tampoco analizar el mecanismo íntimo por el que determinadas fuerzas producen el plegamiento de una lámina celular, para formar un tubo o esfera. Su objetivo es mucho más complejo, al ser capaz de describir tan exactamente como sea posible, a todos los niveles considerados, cómo un órgano funcional surge a partir de una célula precursora. Para conseguirlo, se debe contar con toda la información mencionada anteriormente, e incluso más.^(1,12)



El conocimiento de la anatomía del desarrollo cardíaco, ha sido trabajado por numerosos autores, dada su transcendencia clínica; no obstante, persisten discordancias en el proceso y en la cronología de los hechos. Los defectos cardíacos congénitos tienen una frecuencia de 6-8 por cada 1000 nacimientos. Si bien la causa se desconoce en la mayoría de los casos, se piensa que casi todas estas malformaciones dependen de múltiples factores genéticos y ambientales, cada uno de los cuales tiene un efecto menor; es decir, es de herencia multifactorial.⁽¹⁵⁾

A partir de la década de los '50, los investigadores comienzan a enfocar el problema desde un punto de vista no estrictamente morfogenético, intentando compaginar los datos anatómicos con los procesos histológicos y dinámicos. La importancia del tiempo de evolución de cada reducto tisular, según se va diferenciando, se pone de manifiesto en esa década, relacionando, asimismo, este crecimiento diferencial con las modificaciones que adopta el tubo cardíaco.⁽¹²⁾

El destacado intelectual renacentista Leonardo da Vinci, maestro de anatomía topográfica, fue el primer embriólogo en hacer las observaciones cuantitativas del crecimiento embrionario. Definió, por ejemplo, la longitud de un embrión totalmente crecido como un braccio (un brazo) y notó que el hígado era relativamente más grande en el feto que en el adulto.⁽¹⁶⁾

En el aspecto genético existe, a mediados del siglo XX, una viva polémica entre los defensores de las teorías filogenéticas y los que se inclinan por la mayor validez de las teorías ontogenéticas. Los imperativos filogenéticos han recibido mucha atención especulativa en el pasado pero, puesto que no se prestan a la medición o experimentación y son por naturaleza fuerzas distantes, es improbable que no sean más que útiles para la inferencia.⁽¹²⁾

La embriología experimental también ha aportado importantes hallazgos, que han sentado los cimientos de la biología molecular del desarrollo en general y de la morfogénesis cardíaca en particular. Estudios experimentales realizados en



embriones de pollo han permitido identificar, a nivel del blastocisto, regiones y áreas con capacidad cardioformadora, denominadas áreas cardiogénicas.⁽¹⁴⁾

Respecto a la embriología molecular, si bien es a partir de 1980 cuando empiezan a establecerse los rudimentos del conocimiento de la base molecular del desarrollo inicial, no fue hasta las investigaciones actuales que ha comenzado a encontrarse una base molecular para muchos de los fenómenos de agregación y ordenamiento celular descritos por los primeros embriólogos.⁽¹⁷⁾

En los últimos decenios han surgido nuevas perspectivas al aplicar, regularmente, métodos matemáticos y geométricos al estudio de la forma y de la estructura del cuerpo humano. La importancia de la morfometría, del griego *μορφή* «morphé» (forma) y *μετρία* «metría» (medición), en el estudio anatómico actual es indiscutible. Las concepciones de Frick (1969) y Scharf (1970) sobre el cálculo alométrico, y las de Elias e Hyde (1983) sobre métodos estereológicos, intentan abarcar proporciones y cambios de las formas y estructuras dentro del organismo, mediante la valoración estadística de mediciones; y obtener conclusiones de la representación cuantitativa de las estructuras en las imágenes de corte.⁽¹²⁾

La informática ha desarrollado ese aspecto, que Frick llama anatomía cuantitativa, y que define como la parte de la anatomía que, mediante la ayuda de mediciones (procedimientos estadísticos o geométrico-estadísticos) intenta conocer las magnitudes y relaciones entre las distintas partes que componen el organismo, y la evolución de estas correlaciones durante la ontogénesis. Igualmente, busca encontrar la correspondencia espacial de los distintos componentes, a partir de su representación cuantitativa y de los resultados de los análisis métricos; y sacar conclusiones sobre formas y procesos biológicos.⁽¹²⁾ Este sentir es adelantado por Klatt (1921), cuando expresa que todo organismo sano es un conjunto compuesto de distintas partes armónicamente sintonizadas entre el tamaño o volumen del organismo y el de sus partes, regiones u órganos.⁽¹²⁾

La base fundamental de la anatomía cuantitativa es la consideración de las formas y estructuras como entes relacionados armónicamente entre sí. Por otro



lado, la aplicación de las nuevas tecnologías en la descripción de las propiedades y características morfológicas, ha permitido definir una metodología específica, la morfología matemática, que define criterios mediante imágenes transformadas para obtener una información cuantitativa. El análisis de las estructuras biológicas debe contribuir a la sólida definición de una nueva biología estructural, que posibilite una formulación de la función, en el sentido matemático, y presida el desarrollo de las formas de un animal o de todos ellos.⁽¹⁸⁾

Frente al elevado número de autores que han estudiado aspectos cualitativos del corazón en el periodo prenatal, son escasos los que han realizado estudios cuantitativos; predomina entre estos los realizados durante el periodo fetal, que describen la configuración anatomogeométrica para cada ventrículo en la vida fetal y perinatal.⁽⁸⁾

En la década de los '60, comienza a señalarse la ausencia de estudios cuantitativos en los trabajos de embriología. Así, Grant (1962) señala la carencia de estudios detallados sobre los cambios volumétricos del corazón durante el desarrollo. De Haan (1965) es el primer autor en advertir que al presentar las estructuras cardiacas un crecimiento diferencial durante la morfogénesis, era necesaria una aproximación cuantitativa, para analizar la forma y el tamaño de estas estructuras durante el proceso de crecimiento cardíaco.⁽¹²⁾

Laird (1965) confirma la insuficiencia de estudios cuantitativos en el periodo embrionario. Peneder (1973) es uno de los primeros autores en introducir la aproximación cuantitativa en la investigación de la morfogénesis humana; y Mandarim (1987) considera que los parámetros volumétricos son más precisos que los lineales para establecer el desarrollo cualitativo del corazón.^(11,12)

¿Cuál es el interés en cuantificar el desarrollo cardíaco embrionario? Los resultados de un estudio morfométrico son un complemento necesario para el conocimiento cualitativo del desarrollo embrionario; en lo referente al corazón se puede ver una carencia de datos en la literatura especializada.⁽¹⁹⁾ La importancia de los estudios morfométricos se argumenta tempranamente en palabras de



Thompson (1948): «la precisión numérica es el alma misma de la ciencia, y su consecución ofrece lo mejor, tal vez el único criterio de verdad de las teorías y la exactitud de los experimentos.»⁽¹⁹⁾

Las bases teóricas y los métodos prácticos de la morfometría están ampliamente difundidos en la literatura. Los citólogos fueron los pioneros en detectar los cambios de morfología y tamaño en las células, tanto en casos de malignidad como en el de variaciones metabólicas. En su afán de ponderar la magnitud de esos cambios, no se conforman con la simple observación microscópica e introducen métodos específicos que proporcionan datos mensurables relacionados con la forma y el tamaño de las estructuras observadas.⁽²⁰⁾

Los parámetros valorables pueden ser múltiples y una vez obtenidos, es posible transformarlos y valorarlos fácilmente, por medio de fórmulas matemáticas. Delesse (1848) introdujo las técnicas morfométricas clásicas mediante la superposición de retículas de puntos; y es en el Centro de Geoestadística de Fontainebleau donde surge el cuerpo doctrinal de la denominada morfología matemática. En las estimaciones morfométricas, se persiguen diversos objetivos, que pueden ir desde el simple conteo de elementos estructurales hasta la valoración del tamaño de los mismos, la medida del área o incluso, su estimación volumétrica.^(12,21)

La estereología es una técnica que permite obtener datos sobre un número de objetos identificables en una estructura tridimensional, que aplica la técnica de muestreo en dos dimensiones; es decir, proporciona una técnica para contar objetos en un corte de la estructura, tal como es visto un espécimen histológico bajo el microscopio. Es por tanto una herramienta esencial para saber el número de unidades en cualquier sistema; sean unidades funcionales, como el glomérulo renal u organelos de la célula, como la mitocondria.^(12,19)

Tales técnicas han de aplicarse con extremo rigor, ya que existen factores que pueden alterar los resultados, tales como: la desorientación en la estructura espacial del objeto, la mala selección del plano de observación, el error del



muestreo, la incorrecta preparación del material a estudiar, la irregularidad de las condiciones ambientales, la mala calibración del microscopio, la poca significación de la variable para la caracterización de la estructura objeto de estudio y la incorrecta aplicación de las técnicas de análisis.⁽²⁰⁾

Actualmente, los sistemas de análisis de imagen por ordenadores que utilizan videocámara, tabletas digitalizadoras y software de análisis de imagen, son un método preciso y eficaz para estimar parámetros estereológicos en cortes histológicos seriados.^(12,22)

La importancia de la morfometría en el estudio anatómico actual es indiscutible, sus fundamentos destacan por su simplicidad. A partir de una colección de muestras bidimensionales representativas, como secciones de tejido, y una cuadrícula superpuesta de puntos de prueba y segmentos de línea, se pueden determinar el volumen tridimensional, el área de superficie y el número y longitud de componentes reconocibles, simplemente por conteo.⁽²¹⁾

Los estudios morfométricos acerca de esta etapa tan temprana de la vida, se tornan cada vez más necesarios para el conocimiento profundo que exige el perfeccionamiento del diagnóstico y la terapéutica embrionaria y fetal. Las fuentes bibliográficas revisadas demuestran que los datos sobre anatomía topográfica del embrión y del feto, son escasos, o se hallan en relación con descripciones de la organogénesis.⁽²²⁾

Entre los estudios morfométricos cardiacos en embriones humanos, destacan los realizados en la Universidad Complutense de Madrid. En el año 2000, la investigación titulada «Análisis descriptivo y morfométrico cardiaco en embriones humanos del estadio 16 de O’Rahilly», realiza la medición de los diámetros lateral y anteroposterior máximos del corazón, y el cálculo del volumen total de este órgano.⁽¹²⁾ En el año 2008, se realiza la morfometría cardiaca en embriones humanos en estadio de Carnegie del 15 al 23, en el que se valoran las medidas morfométricas del volumen cardiaco total y del volumen del miocardio ventricular



a través de los diferentes estadios de Carnegie, así como la correlación lineal entre estas variables.⁽²⁴⁾

Vilas Bormey⁽²⁵⁾ hace referencia a la tesis doctoral de González Lorrio -realizada en la mencionada Universidad en el año 2005- sobre morfometría cardíaca en el periodo embrionario. Específicamente, en lo que respecta al volumen de órganos, el autor refiere: «la valoración del crecimiento del corazón embrionario humano es mejor apreciada con base en la variación volumétrica del órgano». El artículo científico de Vilas Bormey, realizado en la Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara, brinda una aproximación científica acerca de las dimensiones reales del corazón en el embrión humano en el estadio 22 de Carnegie.

Los estudios morfométricos realizados en dicha institución comenzaron en el año 1987, impulsados por el académico ucraniano Anatoliy Loitra; Cañizares,⁽²⁶⁾ en su artículo dedicado al anatomista, así lo refiere. Los primeros trabajos son realizados con un tipo de muestra categorizada como excepcionalmente valiosa, puesto que los embriones estudiados procedieron de intervenciones de embarazos ectópicos.

Después del procesamiento de las muestras y la obtención de las series histoembriológicas, las imágenes fueron capturadas con un sistema morfométrico denominado *Computer-Assisted-Morpho-stereologic System Using Digital Image* (COMSDI-PLUS), soportado en una microcomputadora IBM (USA,1985), con tarjeta digitalizadora *Eye Graber* (USA,1990), acoplada con un monitor multisincrónico Emerson (SubCorea, 1990) que recoge las imágenes a través de un microscopio Olympus (Japón, 1985), con cámara de televisión Koyo (Japón,1990). Las mensuraciones fueron apoyadas en un *Mause Genius* (Taiwan, 1990). Este estudio estuvo dirigido a órganos como el tubo neural, el corazón y los retroperitoneales.⁽²⁶⁾

Varios trabajos de morfometría embrionaria se han realizado en la Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara; algunos referidos a la morfometría cardíaca. Uno de ellos es el realizado a un embrión humano de ocho semanas, en el que se



mostraron resultados referentes a las variables: área pericárdica, área cardiaca y grosor de paredes auriculares y ventriculares, grosor del *septum primun*, del *septum secundum* y del *septum* interventricular; así como el diámetro cardiaco anteroposterior y el transverso.⁽²⁵⁾

Otro trabajo realizado en la misma Universidad, caracteriza el desarrollo cardiaco en embriones humanos entre las 6 y 8 semanas del desarrollo, y lo relaciona con la longitud cráneo-raquis. Este estudio aporta valores morfométricos cardiacos y pericárdicos en los especímenes medidos, y concluye que la longitud cráneo-raquis embrionaria puede predecir el tamaño cardiaco y pericárdico.⁽²⁷⁾

En estos estudios se utilizaron técnicas de digitalización mediante cámara digital DCM 500, acopladas a un estereoscopio MBC-10. Se empleó el software Esclope photo 3.0.^(25,27)

Más recientemente, en un estudio acerca del proceso de compactación miocárdica en embriones humanos de los estadios del 17 al 23 de Carnegie,⁽⁸⁾ se utilizó el programa ImageJ 1.43p, Java 1.6.0-24 (32 bit). Es un programa informático de tratamiento digital de la imagen en general, aunque está más enfocado al ámbito de las ciencias de la salud, en donde suele encontrar aplicación. Es un *softwre* desarrollado en lenguaje Java, en las instituciones del grupo *National Institutes of Health* de Estados Unidos. Su autor principal, Wayne Rasband, trabaja como voluntario especial en el *Research Services Branch* del *National Institute of Mental Health*. ImageJ proporciona una gran cantidad de herramientas de edición, procesamiento y análisis de imagen, aplicables a imágenes de tipo *8-bit*, *16-bit* y *32-bit*, y de multitud de formatos.⁽²⁸⁾

Este programa tiene entre sus usos: mediciones de área en componentes de tejidos selectivamente teñidos, conteo de células y medidas de área a nivel de la célula o tejidos, y cuantificación de antígenos y conteo de partículas observadas a través de microscopía electrónica.⁽²⁸⁾ En los últimos años, con su uso, se han desarrollado nuevas técnicas que aportan información más precisa sobre el potencial de implantación y desarrollo de los embriones. Se han podido obtener



las medidas directamente del embrión sin que participe la opinión del observador. Al obviar el aspecto subjetivo de la medición, es posible desarrollar un sistema de clasificación embrionario más objetivo, lo que disminuye el error experimental asociado. Con estos valores se puede establecer un orden superior de calidad de los embriones en función de su implantación.⁽²¹⁾

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el insuficiente referente cuantitativo acerca del proceso de desarrollo, el conocimiento preciso de la morfometría del corazón embrionario resulta necesario, en busca de indicadores cuantitativos que puedan enriquecer el cuerpo teórico de la embriología humana. También puede servir de referente para el perfeccionamiento de la ecografía diagnóstica y para el desarrollo de la medicina embriofetal.

Esta técnica constituye un importante paso de avance para el desarrollo científico y tecnológico de la medicina en Cuba, orientada hacia el logro de un análisis cada vez más exacto de la vida humana y su evolución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sadler TW. Langman. Embriología Médica [Internet]. Philadelphia: Editorial Wolters Kluwer; 2023 [citado 2025 mzo. 24]. Introducción a la regulación y señalización molecular; p.24-40. Disponible en:
<https://booksmedicos.org/langman-embriologia-medica-15a-edicion/>
2. Moore KL, Moore K, Persaud TVN, Torchia MG. Embriología clínica [Internet]. Barcelona: Elsevier; 2020 [citado 2025 mzo. 24]. Disponible en:
<https://booksmedicos.org/embriologia-clinica-moore-11a-edicion/>



3. Gutiérrez-Núñez R, Gutiérrez-Alarcón BM, Izaguirre-Remón R , Alarcón-Zamora D. Bases informacionales para el estudio morfométrico de placentas en embarazos gemelares. Rev Inf Cient [Internet]. 2021 [citado 2025 mzo. 24];100(6):[cerca de 11 pantallas]. Disponible en:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-99332021000600004
4. Monzón-Tamargo MJ, Pozo-Pozo D, Vivas-Bombino L, Peterssen-Sánchez M, González-Tapia M. Alteraciones morfométricas de corazón en crías de ratas Wistar infectadas con leptospira canícola durante la preñez. Medicent Electrón [Internet]. 2024 [citado 2024 ag. 12];28:[cerca de 13 pantallas]. Disponible en:
<https://medicentro.sld.cu/index.php/medicentro/article/view/3437/3274>
5. Faber JW, Hagoort J, Moorman AFM, Christoffels VM, Jensen B. Quantified growth of the human embryonic heart. Biol Open [Internet]. 2021 [citado 2025 mzo. 24];10(2):[cerca de 11 pantallas]. Disponible en:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33495211/>
6. Sosa Olavarria A. Diagnóstico prenatal de no compactación del miocardio ventricular: presentación de un caso. Rev Peru Ginecol Obstet [Internet]. 2020 [citado 2023 abr. 27];66(4):[cerca de 6 pantallas]. Disponible en:
<https://busqueda.bvsalud.org/portal/resource/es/biblio-1252054>
7. Meller CH, Grinenco S, Aiello H, Córdoba A, Sáenz-Tejeira MM, Marantz P, et al. Congenital heart disease, prenatal diagnosis and management. Arch Argent Pediatr [Internet]. 2020 [citado 2025 mzo. 27];118(2):149-60. Disponible en:
<https://www.sap.org.ar/docs/publicaciones/archivosarg/2020/v118n2a17e.pdf>
8. Navas Contino M, Vilas Bormey MA, Martínez Lima MN, Alfonso Águila B, Santana Machado A, Silverio Ruiz L. El miocardio ventricular desde un enfoque cuantitativo. Su relación con la longitud del embrión humano. Rev Cubana Inv Bioméd [Internet]. 2023 [citado 2024 abr. 15];42:[cerca de 19 pantallas]. Disponible en: <https://revibiomedica.sld.cu/index.php/ibi/article/view/1953/1381>



9. Vilas Bormey MA, Navas Contino M, Alfonso Águila B, García Rivero M, Noa Marrero L, Suri Santos Y. Embrioteca humana: orientaciones metodológicas para su uso en el proceso enseñanza aprendizaje, en formato electrónico. EDUMECENTRO [Internet]. 2022 [citado 2024 oct. 22];14:[cerca de 19 pantallas]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-28742022000100072
10. Muñoz H, Enríquez G, Ortega X, Pinto M, Hosiasson S, Germain A, et al. Diagnóstico de cardiopatías congénitas: ecografía de cribado, ecocardiografía fetal y medicina de precisión. Rev Med Clin Condes [Internet]. 2023 [citado 2024 mzo. 12];34(1):44-56. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-clinica-las-condes-202-articulo-diagnostico-cardiopatas-congenitas-ecografia-cribado-S0716864023000019>
11. Navas Contino M, Vilas Bormey MA, Bermúdez Yera GJ. Arterias coronarias: embriogéneis y anomalías. Rev Cubana Cardiol Cir Cardiovasc [Internet]. 2025 [citado 2025 mzo.25];31:[cerca de 8 pantallas]. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://revcardiologia.sld.cu/index.php/revcardiologia/article/download/>
12. Marantos Gamarra DG. Análisis descriptivo y morfométrico cardíaco en embriones del estadio 16 de O’Rahilly [tesis].[Madrid]:Universidad Complutense de Madrid; 2000. Disponible en: <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/a9d2514c-0efe-4ed6-87e9-3b9848428e4a/content>
13. Di Cicco V, Abdala D. Diagnóstico prenatal de cardiopatías congénitas. Salud Mil [Internet]. 2020 [citado 2024 mzo. 22];39(1):14-19. Disponible en: <https://revistasaludmilitar.uy/ojs/index.php/Rsm/article/view/78>



14. Dess E, Baldwin Scott H. Biología del desarrollo del corazón. En: Chistine A, Sandra E. Avery. Enfermedades del Recién Nacido [Internet]. Barcelona: Elsevier; 2018 [citado 2023 febr. 27]. p.724-40. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323401395000504&ved=2ahUKEwib9YTb-KyRAxWIRjABHekwOmqQFnoECB8QAQ&sqi=2&usq=AOvVaw0jTdXbiRHJdzciXRgoUoWS>
15. Menahem S, Sehgal A, Meagher S. Detección temprana de una enfermedad cardíaca congénita significativa: la contribución de la ecografía cardíaca fetal y la detección de la oximetría del pulso del recién nacido. J Pediatr Salud Infantil [Internet]. 2021[citado 2024 mzo. 26];57(3):323-27. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33529483/>
16. «Estudio del embrión humano», Leonardo da Vinci (1452-1510). Rev Med Clin Condes [Internet]. 2016 [citado 2024 abr. 23];27(4):564. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-clinica-las-condes-202-articulo-estudio-del-embrion-humano-leonardo-S0716864016300694>
17. Napiórkowska T, Templin J, Napiórkowski P, Townley MA. Appendage abnormalities in spiders induced by an alternating temperature protocol in the context of recent advances in molecular spider embryology. Peer J [Internet]. 2023 [citado 2024 abr. 23];11:[cerca de 26 pantallas]. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10493090/pdf/peerj-11-16011.pdf>
18. Alvarado J, Argudo D, Iñiguez U, Bueno P, Méndez MS, Soria M, et al. Análisis morfométrico y funcional de ovocitos bovinos obtenidos de ovarios de matadero y por aspiración folicular transvaginal en vacas criollas del altiplano ecuatoriano. Rev Investig Vet Perú [Internet]. 2020 [citado 2025 mzo. 22];31(2):[cerca de 10 pantallas]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/10dfdf59-ac0d-4271-be75-a0704d3269ba>



19. Cruz Suárez YC, Díaz Rojas PA, Robles García LM, Barceló Alarcón A, Clemente Ricardo O. Morfometría del miocardio ventricular desde la octava hasta la duodécima semana del desarrollo prenatal. CCM [Internet]. 2022 [citado 2023 oct. 31];26(2):[cerca de 15 pantallas]. Disponible en:

<https://revcocmed.sld.cu/index.php/cocmed/article/view/4061>

20. Molina-Botella I, Pertusa-Grau JF, Debón-Aucejo A, Martínez Sanchis JV, Rubio-Rubio JM, Pellicer-Martínez A. Utilización de parámetros objetivos morfométricos para la evaluación de la calidad embrionaria. Rev Iberoam Fert Rep Hum. [Internet]. 2013 [citado 2024 jun.2];30:21-29. Disponible en:

<https://www.revistafertilidad.org/articulo/Utilizacioacuten-de-paraacutemetros-objetivos-morfomeacutetricos-para-la-evaluacioacuten-de-la-calidad-embrionaria/121>

21. Vargas-Ordaz E, Newman H, Austin C, Catt S, Nosrati R, Cadarso VJ, et al. Novel application of metabolic imaging of early embryos using a light-sheet on-a-chip device: a proof-of-concept study. Hum Reproduction [Internet]. 2025 [citado 2025 mzo. 24];40(1):41-55. Disponible en:

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11700888/pdf/deae249.pdf>

22. Jaime-Cruz R, Sánchez-Gómez C, Villavicencio-Guzmán L, Lazzarini-Lechuga R, Patiño-Morales CC, García-Lorenzana M, et al. Embryonic Hyperglycemia Disrupts Myocardial Growth, Morphological Development, and Cellular Organization: An In Vivo Experimental Study. Life [Internet]. 2023 [citado 2025 mzo. 10];13(768):[cerca de 20 pantallas]. Disponible en:

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10056749/pdf/life-13-00768.pdf>

23. Lutfi Selcuk M, Kayikci F. Anatomical and Embryological Development of the Chick Cerebrum in Different Embryonic Periods. Vet Med Sci [Internet]. 2025 [citado 2025 mzo 24];11:[cerca de 9 pantallas]. Disponible en:

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11720722/pdf/VMS3-11-e70124.pdf>



24. Arraez-Aybar LA, Turrero-Nogues A, Marantos-Gamarra DG. Embryonic cardiac morphometry in Carnegie stages 15-23, from the Complutense University of Madrid Institute of Embryology Human Embryo Collection. Cells, Tissues, Organs [Internet]. 2008 [citado 2018 my. 12];187(3):211-20. Disponible en: <https://www.karger.com/Article/Abstract/112212>
25. Vila Bormey MA, Surí Santos Y, Hernández Trimiño O, Cañizares Luna O. Una aproximación a las dimensiones cardíacas en el embrión humano del estadio 22 de Carnegie. CorSalud [Internet]. 2014 [citado 2023 jun. 4];6(1):70-74. Disponible en: <https://revcorsalud.sld.cu/index.php/cors/article/view/181>
26. Cañizares Luna O, Sarasa Muñoz N. Profesor Anatoliy Loytra: un hombre comprometido con la educación médica cubana. EDUMECENTRO [Internet]. 2017 [citado 2024 jun.13];9(2):5-16. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/edu/v9n2/edu02217.pdf>
27. Vila Bormey MA, Surí Santos Y, Santana Machado A, Anoceto Armiñana E, Alfonso Águila B. ¿Puede la longitud cráneo-raquis predecir el tamaño cardíaco en embriones humanos? Medisur [Internet]. 2012 [citado 2024 my. 21];10(5):370-74. Disponible en: <https://medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/2176>
- Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nat Methods [Internet]. 2012 [citado 2024 my. 21];9(7):671-5. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22930834/&ved=2ahUKEwi36bGk_KyRAXUSRDABHVM_OCKAQFnoECCcQAQ&sqi=2&usg=AOvVaw0fArocVUXO6AQQNhJqHOcC

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

