



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ODONTOLOGIA**

**TEMAS SELECTOS DE BIOLOGÍA DEL DESARROLLO DE CABEZA Y CUELLO
EN ODONTOLOGÍA**

TITULACION POR ALTO PROMEDIO

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
CIRUJANO DENTISTA**

**PRESENTA:
MARIA DE SANCTIS ARROYO**

**TUTORA:
MTRA. ITZEL CASTILLEJOS GARCIA**

VoBo [Firma]





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

Introducción.....	1
I. Planteamiento del Problema.....	2
II. Justificación.....	2
III. Objetivo General.....	3
a. Objetivos Específicos.....	3
Biología del Desarrollo.....	4
1. Embriología.....	4
2. Gametogénesis.....	5
3. Ovulación.....	8
4. Fecundación.....	10
5. Gestación	13
A. Etapa embrionaria	13
i. Segmentación	13
ii. Implantación y Blastulación.....	14
iii. Periodo Lacunar.....	18
iv. Gastrulación.....	18
v. Formación de la Notocorda.....	20
vi. Neurulación.....	21
vii. Segmentación del Saco Vitelino.....	22
viii. Somitas.....	23
6. Arcos Faríngeos	25
7. Desarrollo de la Lengua	30
8. Desarrollo de la Cara	31
9. Formación del Paladar Duro	34
10. Odontogénesis	36
Bibliografía	40

Índice de Tablas y Figuras

Tabla 1. Diferencias entre células diploides y haploides.....	6
Tabla 2. Gametogénesis.....	7
Tabla 3. Derivados de los Arcos Aórticos.....	26
Tabla 4. Derivados de los Arcos Faríngeos.....	27
Tabla 5. Derivados de las Bolsas Faríngeas.....	29
Figura 1. Gametogénesis.....	8
Figura 2. Ciclo Ovárico.....	9
Figura 3. Ciclo Menstrual.....	10
Figura 4. Fecundación.....	12
Figura 5. Segmentación.....	13
Figura 6. Implantación y Blastulación.....	17
Figura 7. Gastrulación.....	18
Figura 8. Derivados del Disco Trilaminar.....	20
Figura 9. Neurulación.....	22
Figura 10. Segmentación del Saco Vitelino.....	23
Figura 11. Formación de las Somitas.....	24
Figura 12. Arcos Faríngeos.....	26
Figura 13. Bolsas y Hendiduras Faríngeas.....	30
Figura 14. Desarrollo de la Lengua	31
Figura 15. Desarrollo de la Cara	32
Figura 16. Desarrollo de la Nariz	34
Figura 17. Desarrollo del Paladar.....	35
Figura 18. Morfología Dental.....	36
Figura 19. Odontogénesis.....	39

Introducción

Los módulos de Morfología oral (**MO**) y de Morfofisiología de los Sistemas del Cuerpo Humano (**MSCH**) comprenden disciplinas convergentes que brindan las bases para el conocimiento del cuerpo humano, con énfasis en cabeza y cuello; con posterior aplicación del conocimiento clínica en módulos y asignaturas sustantivas, que forman parte de un plan de estudios cuya función es satisfacer las necesidades actuales en el ámbito odontológico y de la salud. Dichos módulos incluyen a la Biología del desarrollo, que se encarga del estudio de los procesos mediante los cuales el cuerpo humano crece durante la gestación y que, a su vez ayudan a comprender la embriogénesis normal y las anomalías congénitas (López SN, 2012).

La Biología del desarrollo en conjunto con las disciplinas complementarias son el fundamento de las ciencias de la salud (Saladin, 2013; Cui, 2011) y el aprendizaje significativo alcanzado a partir de la integración de dichas disciplinas contribuye al perfil de egreso de la Licenciatura de Cirujano Dentista, por medio del logro de la competencias que señala: “Relacionar el desarrollo de la cara, la cavidad oral y el cuello, así como identificar la estructura, forma y función de los elementos que los constituyen, y con ello diferenciar características entre estructuras normales, anormales y sus variaciones; además de reproducir la anatomía de los dientes” e “Identificar la formación, el desarrollo y los elementos macroscópicos y microscópicos de los órganos y sistemas del cuerpo humano, así como, su función e interdependencia dinámica existente entre todos los sistemas, para ejercer una práctica odontología responsable” (Modulo de Morfología oral, 2016; Módulo de Morfofisiología de los Sistemas del Cuerpo Humano, 2016, p.8).

Así, la Biología del desarrollo se convierte en el parteaguas para comprender diversos procesos con aplicación clínica. La bibliografía básica y complementaria del programa de estudios de la Facultad de Odontología, incluye libros que son elementales para el acercamiento y comprensión de esta disciplina, sin embargo, se pueden agregar textos que estén enfocados al perfil del Cirujano Dentista.

I. Planteamiento del problema

La biología del desarrollo es una disciplina que pertenece al área básica en la formación del Cirujano Dentista, ya que permite desarrollar conocimientos acerca del desarrollo de la cara, la cavidad oral, el cuello y los sistemas del cuerpo humano; así como, las alteraciones que ocurren durante este proceso, que posteriormente se vincularán con la aplicación clínica (*Programa de estudios del Módulo de Morfología Oral*). Si bien, existe una vasta bibliografía referente a esta área, la mayoría orientada a la Medicina general (Sadler TW 2012; Gómez de Ferraris ME, Campos MA. 2009) y son escasos los textos enfocados a cabeza y cuello y que vayan acorde con el programa de la Licenciatura de Cirujano Dentista de la Facultad de Odontología, UNAM (Ponce Bravo S, 2016). La falta de información dirigida y sintetizada, dificulta el proceso de aprendizaje de los alumnos en el contexto de las áreas básicas.

El hecho de que no exista un material con carácter autodidacta enfocado en el programa de la Licenciatura de Cirujano Dentista, representa una dificultad para el aprendizaje de los alumnos de primer año.

II. Justificación

El conocimiento del desarrollo humano, con énfasis en la región de cabeza y cuello, tiene un valor práctico en el aprendizaje de las relaciones normales entre las estructuras y las causas de las posibles malformaciones congénitas y/o enfermedades adquiridas. La compilación y síntesis de información referente a Embriología, enfocada al programa de estudios de la Licenciatura de Cirujano Dentista y de manera digital, es una herramienta que incrementará el aprendizaje de los estudiantes y facilitará la posterior incorporación de conocimientos afines con aplicación clínica.

El presente trabajo presenta una revisión de los temas de Biología del desarrollo con base en las competencias del Cirujano Dentista, que se piensa como una estrategia de difusión del conocimiento

dirigido y facilitará la información a los estudiantes de los módulos de Morfología Oral y Morfofisiología de los Sistemas del Cuerpo Humano de Facultad de Odontología, UNAM.

Del mismo modo, esta propuesta, pretende beneficiar a otras personas del área de la Odontología que requieran un material de apoyo.

III. Objetivo general

Elaborar una revisión bibliográfica con enfoque en el área de conocimiento de Embriología de los Sistemas del Cuerpo Humano, con énfasis en la biología del desarrollo de cabeza y cuello, con base en el programa de estudios de los Módulos de Morfología Oral y Morfofisiología de los Sistemas del Cuerpo Humano de la Licenciatura de Cirujano Dentista de la FO, UNAM.

a. Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica de la información acerca de la Embriología del cuerpo humano, con énfasis en cabeza y cuello.
- Diseñar una propuesta sintetizada y de fácil lectura, con base en el programa de estudios de los Módulos de Morfología Oral y Morfofisiología de los Sistemas del Cuerpo Humano.

Biología del Desarrollo

La biología del desarrollo es una rama de la medicina que se encarga de estudiar los procesos mediante los cuales se forma un nuevo organismo desde la fecundación, y considera los mecanismos morfológicos, moleculares, de crecimiento y de diferenciación celular; esto permite comprender la embriogénesis normal y a su vez, las anomalías congénitas que se generan durante el desarrollo.

1. Embriología

La embriología estudia cómo se desarrollan los embriones, sin embargo este término suele utilizarse para referirse tanto al desarrollo prenatal de los embriones, como de los fetos. Los hallazgos en embriología han ayudado a comprender las **anomalías congénitas**, de manera específica a partir de la **teratología**, rama que aborda las alteraciones del desarrollo como consecuencia de los distintos factores: genéticos, ambientales o ambos.

¿Cuáles son algunos tipos de anomalías congénitas en cabeza y cuello?

Agenesia: cuando no se produce el desarrollo un órgano, tal es el caso de la agenesia dental.

Hipoplasia: cuando se detiene el desarrollo y el órgano es de menor tamaño. Ej. **Hipoplasia maxilar.**

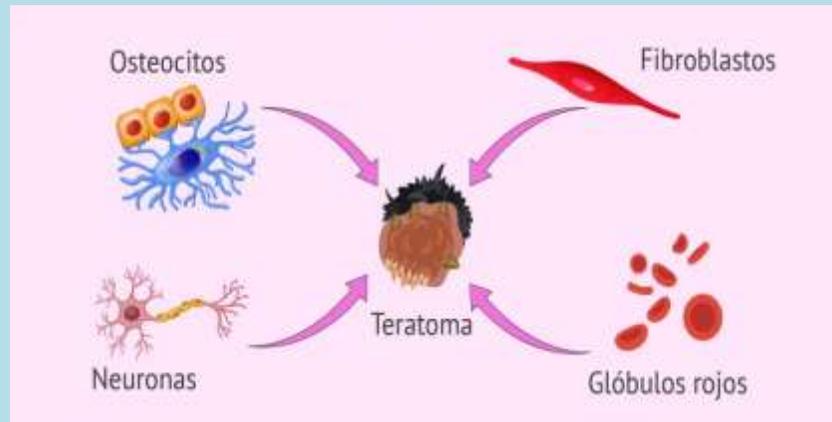
Hiperplasia: cuando existe un mayor desarrollo del órgano y este adquiere un mayor tamaño. Ej. **Hiperplasia condilar.**

Persistencia de estructuras vestigiales: cuando falla la involución de una estructura transitoria. Ej. **Quiste del conducto tirogloso.**

¿Qué es un teratoma?

Es un **tumor de origen embrionario** formado por varios tipos celulares, que provienen de las 3 capas germinales del embrión (endodermo, mesodermo y ectodermo); por esta razón, es posible que contenga **diferentes componentes** como pelo, dientes, hueso, cartílago, etc.

Aunque principalmente surge en los ovarios y testículos, es posible encontrarlo en localizaciones diversas.



(Fuente: <https://www.reproduccionasistida.org/wp-content//teratoma.jpg>).

¿Qué es un agente teratógeno?

Es cualquier agente capaz de producir una alteración en el desarrollo del producto, dando como resultado lo que conocemos como **anomalía congénita**. Se pueden clasificar de acuerdo al origen como:

Factores Genéticos:

Se pueden relacionar con el número de cromosomas o con las anomalías cromosómicas estructurales. Ej. trisomía 21, síndrome Cri du chat, etc.

Factores Biológicos (*infecciosos*):

Si la gestante presenta alguna enfermedad viral o bacteriana que pueda traspasar la barrera placentaria. Ej. Sífilis, VHS, etc.

Factores Físicos:

Son sustancias consumidas por la gestante, como drogas legales e ilegales, fármacos controlados, así como radiaciones y ciertas vacunas.

2. Gametogénesis

Para poder crear un ser humano, se requieren **gametos (células sexuales)** maduros, capaces de participar en la **fecundación**. La gametogénesis es el proceso mediante el cual a partir de cambios cromosómicos y

morfológicos, se desarrollan las células sexuales especializadas: ovocitos en las mujeres y espermatozoides en los hombres.

Para poder formar los gametos, se requieren **células germinales primordiales (CGP)**, células precursoras que se originan fuera de los órganos sexuales y posteriormente, migran a ellos durante las primeras etapas del desarrollo embrionario. Una vez en las gónadas, las CGP comienzan la **etapa de proliferación** que consiste en múltiples mitosis hasta alcanzar los cientos de millones de células; el patrón de proliferación es distinto entre las células germinales masculinas y femeninas (**Figura 1**). De manera particular, una gran cantidad de ovogonias sufre un proceso de degeneración natural llamado **atresia**, durante toda la vida de la mujer hasta la menopausia.

Los cambios cromosómicos de los gametos se dan a través de la **meiosis**, proceso de división celular en el que a partir de una célula **diploide (46 cromosomas)**, tales como las ovogonias y las espermatogonia, se producen cuatro células **haploides (23 cromosomas)** (**Tabla 1**).

Tabla 1. Diferencias entre células diploides y haploides.

	Células diploides	Células haploides
Definición	Contienen un juego de cromosomas completo (2n/46).	Tienen una serie simple de cromosomas, es decir, contienen la mitad (n/23).
División celular	Se reproducen por mitosis	Son el resultado del proceso de la meiosis
Ejemplo de células	Las células somáticas son diploides, tales como: queratinocitos, células hematopoyéticas, miocitos, etc.	Las células haploides son los gametos sexuales, es decir, los espermatozoides y los óvulos.

La meiosis consta de 2 divisiones: durante la **primera división meiótica** las células germinales tienen 46 cromosomas de cadena doble, ya que de manera previa duplican su ADN y por ello tienen el doble de ADN con respecto a una célula normal; además, en esta división tiene lugar el apareamiento de los cromosomas homólogos y los entrecruzamientos. Al finalizar la primera división meiótica, cada célula hija contiene 23 cromosomas, pero aún con doble ADN. En la **segunda división meiótica**, cada célula hija es realmente haploide con 23 cromosomas y ADN simple. De manera específica, en los ovocitos la meiosis inicia en el 5º mes de desarrollo y existen dos bloqueos meióticos: uno en diploteno de la profase I y en metafase II; mientras que en el hombre, la meiosis comienza en la pubertad.

La maduración de los gametos masculinos se denomina **espermatogénesis** e inicia en la pubertad con la maduración de las **espermatogonias**, cada una de las cuales origina cuatro células hijas llamadas **espermátidas**. La secreción de la hormona luteinizante (**LH**) estimula a las células de Leydig para producir testosterona y la hormona folículo estimulante (**FSH**) actúa sobre las células de Sertoli para favorecer la **espermiogénesis** y así, bajo modificaciones estructurales y morfológicas en el epidídimo se convertirán en **espermatozoides** (Figura 1B y 1D).

Por su parte, la **ovogénesis** es el proceso de maduración de los gametos femeninos, el cual inicia en el periodo fetal y posteriormente sufre un periodo de latencia durante la infancia; al llegar a la pubertad se reinicia para originar una célula madura en cada ciclo sexual (Figura 1A y 1C). La cronología de los acontecimientos durante la meiosis es distinta en los dos sexos (Tabla 2).

Tabla 2. Gametogénesis. Se describen las diferencias entre los procesos de ovogénesis y espermatogénesis.

Ovogénesis	Espermatogénesis
Se realiza en los ovarios	Se realiza en los testículos
El proceso se lleva a cabo una vez al mes	El proceso se lleva a cabo diariamente
En la meiosis I las células no se dividen	En la meiosis I las células se dividen

equitativamente, casi todo el citoplasma queda en una sola célula hija

Se produce una sola célula funcional, en ocasiones pueden ser dos.

La mujer nace con un número determinado de óvulos

equitativamente

Se producen cuatro células funcionales.

El hombre durante toda la vida produce espermatozoides de manera interrumpida

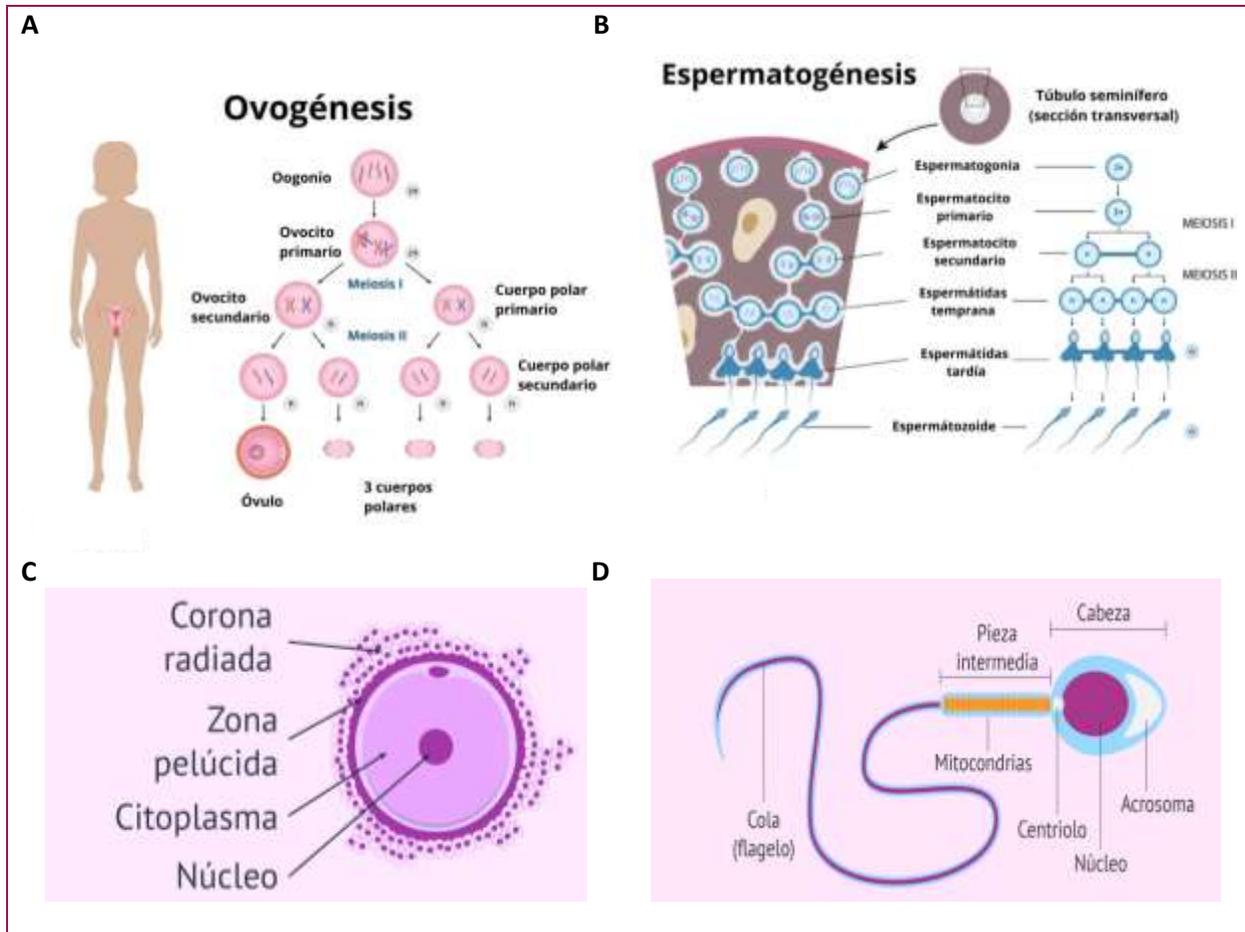


Figura 1. Gametogénesis. Esquema que muestra el proceso de ovogénesis hasta la maduración (A), el proceso de espermatogénesis y espermiogénesis en los túbulos seminíferos (B) y los gametos sexuales maduros: óvulos (C) y espermatozoide (D). (Fuente: <https://www.lifeder.com/fecundacion-humana> y <https://www.reproduccionasistida.org>).

3. Ovulación

Durante la pubertad, las mujeres presentan un **ciclo ovárico** que es regulado por hormonas gonadotrofinas, secretadas por la hipófisis. En cada ciclo ovárico, un determinado número de folículos



primordiales (5-15) comienzan a crecer por estímulo de la **hormona folículoestimulante (HFE)**, pero solo uno continúa creciendo y alcanza la madurez (**folículo de Graaf o terciario**), mientras que al mismo tiempo el óvulo que se encuentra en el interior se desarrolla en desarrollo dentro del mismo uno de ellos (**Figura 2**).

Durante este periodo de crecimiento y maduración folicular, se da la proliferación de las células foliculares y tecales que elaboran estrógenos; actuando en el endometrio uterino para alcanzar su **fase proliferativa** y estimulan la secreción de la **hormona luteinizante** por parte de la hipófisis, misma que ayuda a la maduración del folículo terciario (**Figura 3**).

La **ovulación** es el proceso por el cual el **folículo de Graaf** libera un **óvulo** maduro (primera división meiótica completa) hacia la tuba uterina para poder ser fecundado y ocurre alrededor de 12 a 15 días antes del inicio de cada ciclo menstrual (**Figura 2**).

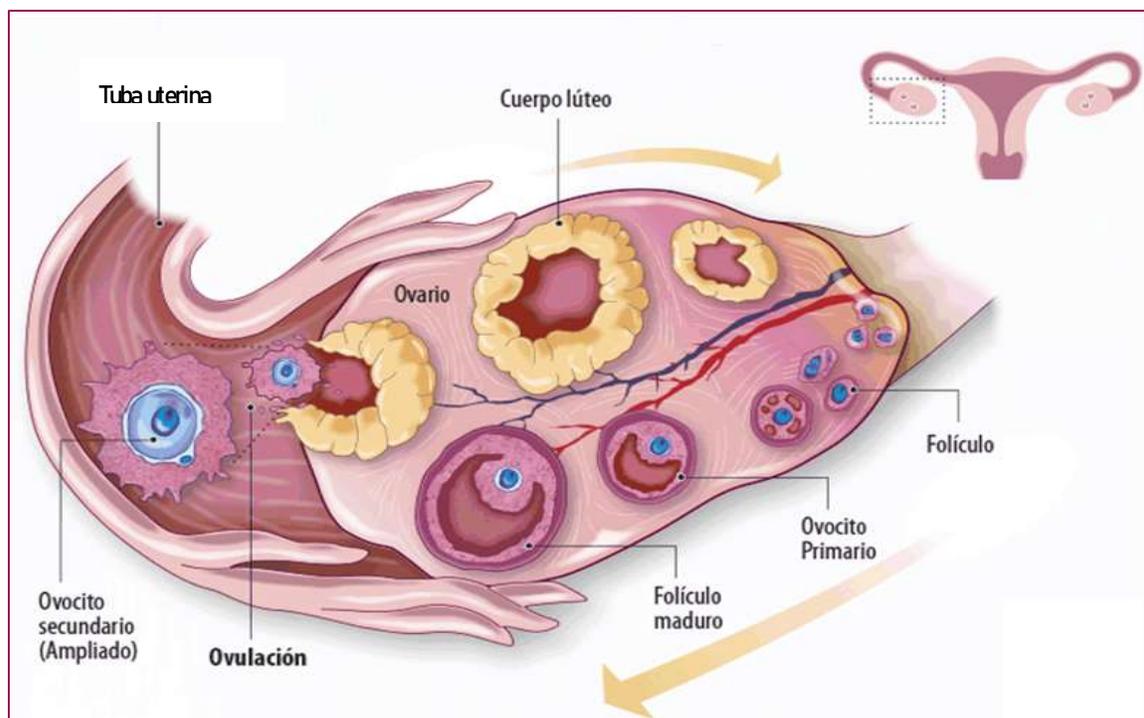


Figura 2. Ciclo Ovarico. Ovario que muestra las diferentes etapas de la maduración de los folículos, comenzando con el primordial y terminando con la ovulación, (Fuente: Modificada <https://www.natalben.com/calcula-dias-fertiles-ovulacion-sin-errores>).

Las fimbrias de la tuba uterina recogen al óvulo y con sus cilios lo desplazan hacia el interior de la tuba; con las contracciones musculares de sus paredes empujan suavemente al óvulo hacia el útero.

Después de la ovulación, tanto las células foliculares que quedan en el folículo como las de la teca interna, se tornan polihédricas con una coloración amarillenta y forman al **cuerpo lúteo**, quien se encarga de secretar progesterona. Esta hormona en conjunto con el estrógeno, estimulan al endometrio para alcanzar la **fase prostagésional**, capaz de recibir a un óvulo fecundado (**Figura 3**).

El óvulo vive entre 12 y 24 horas, por lo tanto para concebir un embarazo el óvulo debe ser fecundado en ese periodo por un espermatozoide; de lo contrario, el óvulo se disuelve y el cuerpo lúteo se degenera en un tejido cicatrizal, llamado **corpus albicans**. Con esto, la progesterona disminuye y da inicio la menstruación.

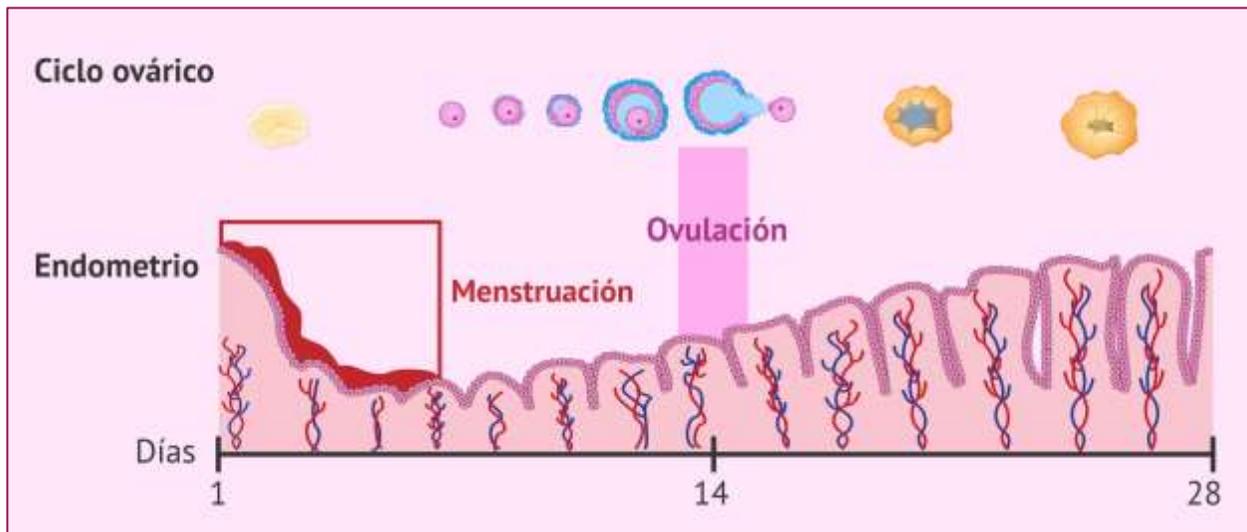


Fig.3. Ciclo menstrual. Las etapas del ciclo ovárico se relacionan con cambios endometriales causados por la secreción hormonal (Fuente: <https://www.reproduccionasistida.org/es-posible-que-ocurra-la-ovulacion-y-regla-al-mismo-tiempo>).

4. Fecundación

La fecundación es una secuencia de eventos moleculares coordinados, la cual se inicia con el contacto entre un espermatozoide y un ovocito maduros, para permitir la penetración del espermatozoide en un

ovocito y así, lograr la combinación cromosómica de ambas células, originando la primer célula diploide (**46 cromosomas**) denominada **cigoto** y finaliza con la primer división mitótica de la misma.

Al encuentro del ovocito sólo llegan los espermatozoides más aptos (**alrededor de 200-500**), los cuales siguen mecanismos quimiotácticos que producen las células foliculares del cúmulo oóforo, entre ellos la progesterona. Los espermatozoides recién eyaculados no son capaces de fecundar los ovocitos, requieren un período de **acondicionamiento o capacitación** que tiene una duración aproximada de 7 h. Durante este período, se elimina de la superficie del acrosoma del espermatozoide una cubierta glicoproteica y diversas proteínas seminales; además, se modifica la permeabilidad que la membrana tiene por los electrolitos calcio y potasio para que el espermatozoide tenga la capacidad de responder a los estímulos externos.

Cuando los espermatozoides capacitados entran en contacto con la corona radiada que rodea al ovocito secundario, la penetran en gran medida por los movimientos flagelares activos. Posteriormente, el acrosoma se une a la glucoproteína ZP3 de la zona pelúcida del ovocito secundario y se genera la **reacción acrosomal**, necesaria para que el espermatozoide pueda fusionarse con el ovocito, ya que da lugar a la aparición de zonas de perforación del acrosoma en varios puntos de la cabeza del espermatozoide, lo que permite la fusión entre la membrana plasmática del ovocito secundario y la membrana externa del acrosoma, liberando el contenido del acrosoma al medio externo. El contenido del acrosoma está integrado por enzimas hidrolíticas (**hialuronidasa, acrosina y tripsina**), que permiten al espermatozoide degradar y avanzar por la zona pelúcida; así como proteínas que posibilita la fusión de membranas para la liberación del contenido del espermatozoide hacia el citoplasma del ovocito. Por su parte, la membrana plasmática del espermatozoide al ser antigénicamente distinta a la del óvulo, se incorpora a la membrana de este último (**Figura 4**).

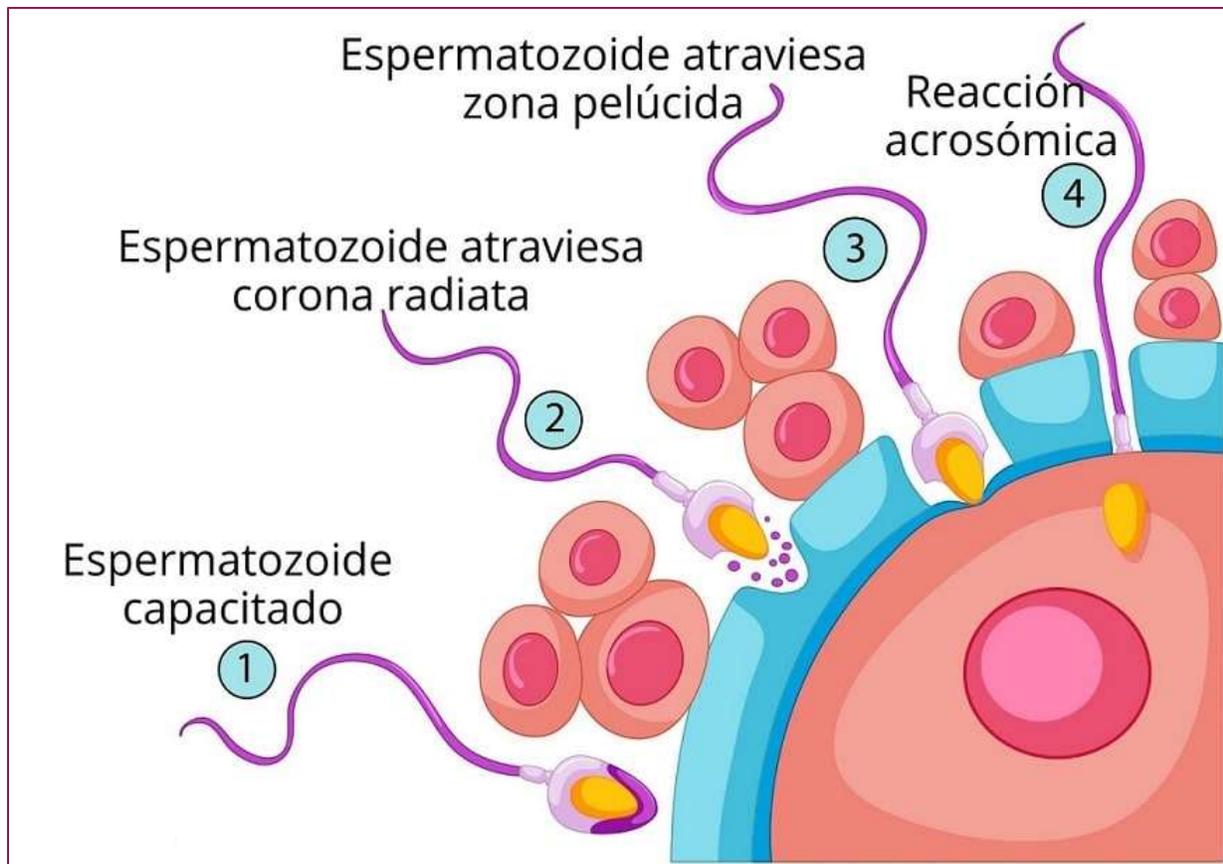


Figura 4. Fecundación. 1. El espermatozoide capacitado llega al óvulo después de atravesar el aparato reproductor femenino. 2. El espermatozoide con ayuda de la hialuronidasa es capaz de penetrar la corona radiada del ovocito. 3. El espermatozoide penetra la zona pelúcida con ayuda de las enzimas espermiolisinas, liberadas por el acrosoma. 4. La liberación de estas espermiolisinas está asociada a una serie de cambios estructurales del espermatozoide, lo que se conoce como reacción acrosómica. (Fuente: <https://www.lifeder.com/wp-content/uploads/2020/08/entrada-de-espermatozoide-a-%C3%B3vulo-min.jpg>).

Una vez que el espermatozoide ha entrado, ondas sucesivas de calcio se extienden desde el lugar de fusión y contribuyen en primer lugar a que la segunda división meiótica del ovocito se complete; posteriormente, las ondas inician el reclutamiento de ARN materno y actúan sobre las células granulares de la cortical. El calcio produce la fusión de las células granulares con la membrana plasmática del ovocito y liberen su contenido (**enzimas hidrolíticas y polisacáridos**) al espacio perivitelino, hasta alcanzar la zona pelúcida e hidrolizan los receptores de espermatozoides, a este proceso se le conoce como: **reacción cortical o de zona** y evitar la **poliespermia**.

La fecundación tiene lugar en la ampolla de la tuba uterina (**1er día**) y avanza hacia el útero entre los 2 a 5 días posteriores, para luego implantarse. Si el ovocito no es fecundado en esta zona, cuando alcanza el cuerpo uterino es degenerado y reabsorbido.

5. Gestación

La gestación es el periodo comprendido entre la fecundación y el nacimiento, que en promedio consta de 38 a 40 semanas. La edad gestacional es un término que se utiliza para referirse al avance de este proceso.

A. Etapa Embrionaria

i. Segmentación

Una vez que se forma el **cigoto**, este experimenta cambios metabólicos e inicia el proceso de segmentación, que consiste en múltiples divisiones mitóticas durante algunos días a lo largo de la tuba uterina e incrementa rápidamente el número de células. Estas células embrionarias, ahora denominadas **blastómeras**, son cada vez más pequeñas con cada división de segmentación sucesiva y permanecen en el interior de la zona pelúcida. Tras 8 o 9 células, las blastómeras muestran un cambio de configuración, las más externas se adhieren estrechamente entre sí mediante uniones en hendidura y uniones estrechas; este fenómeno, se denomina **compactación** y está mediado por glucoproteínas de adhesión celular activadas por calcio (**E-cadherina**). A partir de 16 blastómeras se denomina **mórula**, que representa una masa esférica (**Figura 5**).

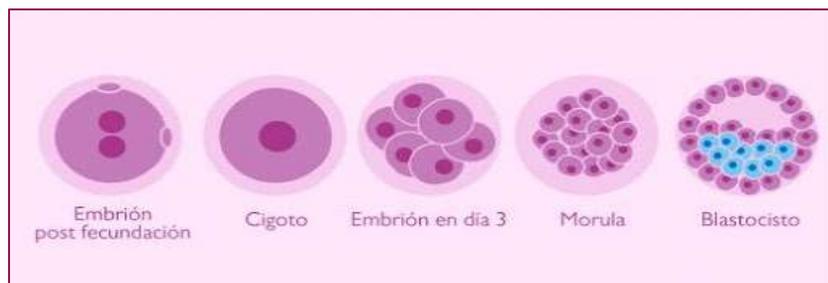


Figura 5. Segmentación. Esquema que representa las células resultantes a partir de la primera división mitótica (blastómeras) hasta la formación del blastocisto (Fuente: <http://barcelona.indymedia.org/newswire/display/514293>).

ii. Implantación y Blastulación

Poco tiempo después de la entrada de la mórula en el útero (aproximadamente, 4 días después de la fecundación), la actividad de un sistema de transporte de sodio (Na^+), permite que este electrolito y el agua (H_2O) procedentes de la cavidad uterina, atraviesen las blastómeras externas y se acumulen en los espacios que dejan las blastómeras internas, dando lugar a la **cavitación**; el espacio lleno de líquido se llama **blastocole** que en conjunto con todas las células, se denomina **blastocisto**. A medida que aumenta la cantidad de líquido en el blastocole, los blastómeras se separan en dos zonas:

- **Trofoblasto (del griego trophe, nutrición)**: Una capa celular (**epitelial**) externa delgada que originará a la parte embrionaria correspondiente a la placenta.
- **Embrioblasto**: Un grupo de blastómeros internos que dará lugar al embrión.

El **factor temprano de la gestación** es una proteína del shock térmico y homóloga de chaperonin 10, que tiene propiedades de inmunosupresor y es secretado por el ovario; aparece en el suero materno a las 36-48 horas de la fecundación.

Después de que el blastocisto permanece flotando en las secreciones uterinas durante 2 días, la corona radiada se pierde; en tanto, la zona pelúcida se mantiene hasta que el embrión alcanza el útero. Después de que el blastocisto llega a la cavidad uterina, la zona pelúcida experimenta gradualmente degeneración y desaparece mediante el proceso de **eclosión** y así, permite la implantación y el crecimiento del blastocisto.

El blastocisto se une al epitelio endometrial en la porción media de la pared posterior del útero (**aproximadamente 6-8 días después de la fecundación o el día 20 de un ciclo menstrual de 28 días**), generalmente mediante proyecciones trofoectodérmicas en la zona adyacente al polo embrionario. El sincitiotrofoblasto infiltra el epitelio endometrial, que sufre apoptosis y facilita este proceso; poco tiempo después, alcanza el estroma endometrial y la implantación del blastocisto se completa durante la segunda

semana. Las células del tejido conjuntivo endometrial experimentan una transformación que se denomina **reacción decidual**, en la que las células aumentan de volumen por acumulación de glucógeno y lípidos en su citoplasma, y se denominan **células deciduales**. La zona de penetración es reepitelizada, de manera similar a la cicatrización de una herida, mediante señales del adenosín-monofosfato cíclico y la progesterona.

Como resultado de la interacción entre el blastocisto y el endometrio, el trofoblasto prolifera con rapidez y se diferencia en dos capas: **citotrofoblasto** y **sincitiotrofoblasto**. Esta última está constituida por una masa protoplásmica multinucleada en la que no se identifican los límites celulares, mientras que el citotrofoblasto presenta células bien definidas con gran actividad mitótica, que originan a las células que migran hacia la masa del sincitiotrofoblasto.

¿Qué es la reacción decidual?

Durante la fase progestacional el endometrio es infiltrado por leucocitos que secretan interleucina 2 (IL-2), la cual impide que el sistema inmunitario materno identifique al embrión como un cuerpo extraño y lo ataque.

El sincitiotrofoblasto secreta una hormona glicoproteica, la **gonadotropina coriónica humana (hCG)**, la cual alcanza la sangre materna a través de la circulación útero-placentaria. La hCG mantiene la actividad hormonal del cuerpo lúteo en el ovario durante el inicio del embarazo, para que continúe con la secreción de progesterona. Al final de la segunda semana, el sincitiotrofoblasto produce la cantidad suficiente de hCG como para ofrecer un resultado positivo en la prueba de embarazo.

A medida que progresa la implantación, el embrioblasto experimenta cambios significativos; se forma un espacio pequeño en la parte superior que corresponde al **primordio de la cavidad amniótica**. Simultáneamente, las células adquieren una forma epitelial y aparece una fina capa de células en su parte ventral: la capa superior de células se llama epiblasto y la inferior, hipoblasto, que en conjunto constituyen

el **disco germinativo bilaminar**. El líquido de los espacios lacunares, denominado **embriotrofo**, llega al disco embrionario por difusión y proporciona material nutritivo al embrión (**Figura 6**).

El **epiblasto** es la capa más gruesa y contiene células cilíndricas altas que forman el embrión en sí mismo, aunque también forma tejidos extraembrionarios. Al poco tiempo de la formación del epiblasto, células amniogénicas se separan de él y forman el **amnios**, que rodea la **cavidad amniótica**.

El **hipoblasto** está constituido por pequeñas células cuboideas, adyacentes a la cavidad exocelómica. Esta capa prolifera y forma una capa continua de **endodermo extraembrionario** denominado **endodermo parietal**, el cual reviste al blastocele y origina al **saco vitelino primitivo o primario**.

Posteriormente, las células del endodermo del saco vitelino primario forman una capa de tejido conjuntivo: **mesodermo extraembrionario**, que rodea el amnios y al saco vitelino. A continuación, el mesodermo extraembrionario aumenta de volumen y aparecen **espacios celómicos extraembrionarios** aislados en su interior; estos espacios se fusionan rápidamente formando una gran cavidad aislada, el **celoma extraembrionario**. Esta cavidad llena de líquido que rodea a la cavidad amniótica y al saco vitelino primario, excepto en la zona en la que estas estructuras están unidas al corion por el tallo de conexión, también da soporte tisular al epitelio del amnios, del saco vitelino y de las **vellosidades coriónicas** que se originan a partir de los tejido trofoblásticos.

Debido a que el celoma extraembrionario se forma en el interior del mesodermo extraembrionario, este último queda separado en dos capas:

- **El mesodermo somático**, que reviste el citotrofoblasto
- **El mesodermo esplácnico**, que rodea a la cavidad amniótica y al saco vitelino

El mesodermo somático extraembrionario y las dos capas de trofoblasto forman el corion. El corion forma la pared del saco coriónico, dentro del cual el embrión, el saco amniótico y la vesícula umbilical están

suspendidos por el tallo de conexión. Es preferible el término de vesícula umbilical debido a que en la vesícula humana no hay vitelo. El celoma extraembrionario se denomina ahora cavidad coriónica.

A medida que se forma el celoma extraembrionario, el saco vitelino primario disminuye de tamaño y se forma un **saco vitelino secundario** más pequeño y dejando un resto al interior.

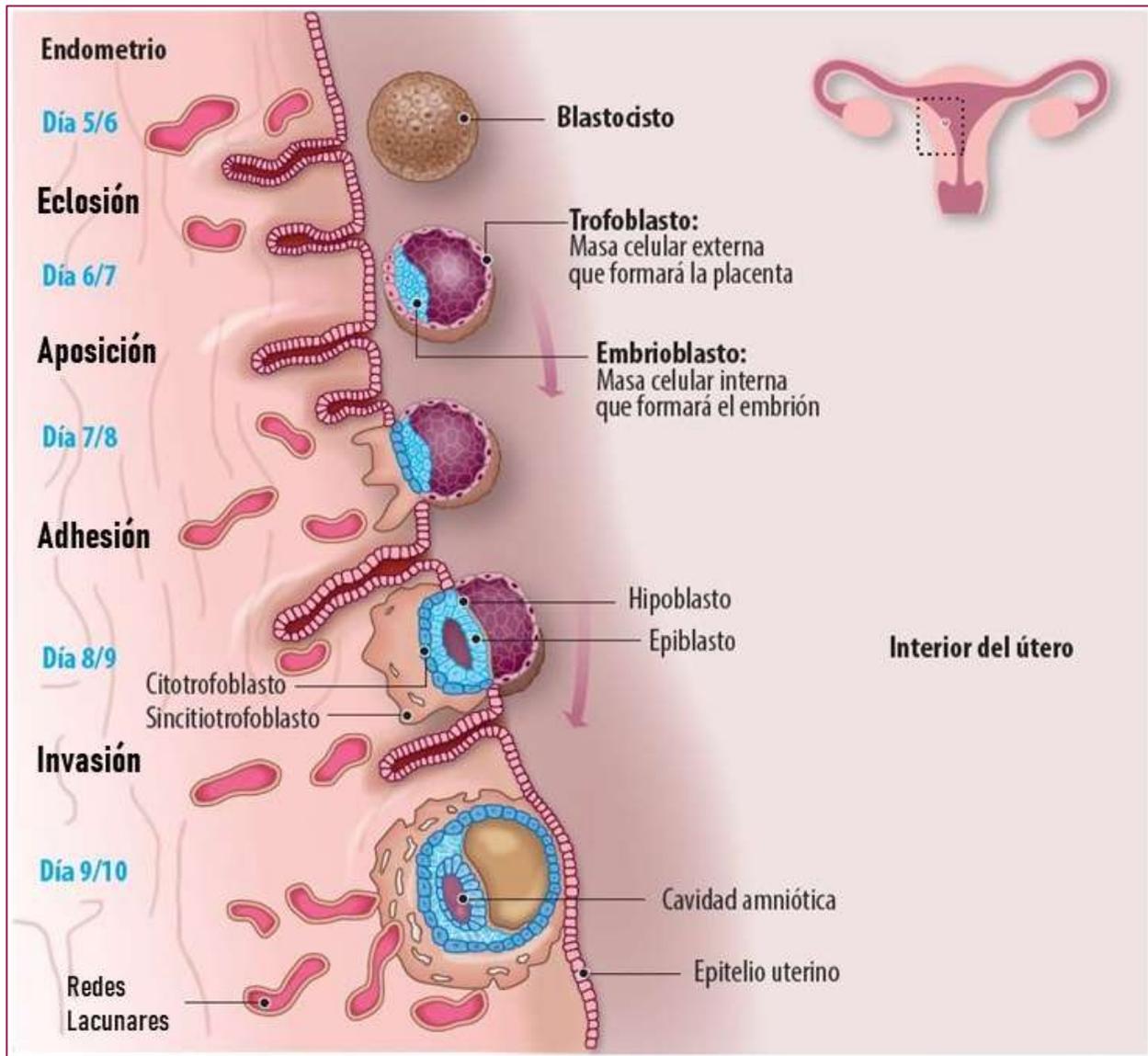


Figura 6. Implantación y Blastulación. Esquema del proceso para la implantación. **Eclosión:** proceso donde el blastocisto se deshace de la zona pelúcida. **Aposición:** el blastocisto encuentra su lugar de implantación y el trofoblasto en el polo embrionario hace contacto con el endometrio. **Adhesión:** se expresan las integrinas $\beta 1$, $\beta 3$ y $\beta 4$, moléculas intermediarias entre el endometrio y el blastocisto, facilitando la fijación. **Invasión:** El blastocisto alcanza al tejido conectivo del útero, con la ayuda de citocinas (Fuente Modificada: <https://www.natalben.com/implantacion-embarazo>).

iii. Periodo Lacunar

De manera paralela a la implantación, las prolongaciones del sincitiotrofoblasto forman cavidades aisladas (**lagunas**) en su interior y contactan los vasos sanguíneos endometriales maternos; los capilares endometriales que rodean al embrión implantado experimentan congestión y dilatación, se convierten en **sinusoides**, es decir, vasos terminales de pared fina que tienen un calibre mayor que el de los capilares convencionales. La formación de los vasos sanguíneos en el estroma endometrial está bajo la influencia de los estrógenos y la progesterona.

Posteriormente, el sincitiotrofoblasto erosiona las paredes vasculares y la sangre periférica materna comienza a llenar las lagunas, lo que establece la **circulación útero-placentaria**, cuyo objetivo es llevar sustancias nutritivas y oxígeno al embrión. La sangre oxigenada alcanza las lagunas procedente de las arterias endometriales espirales, mientras que la sangre desoxigenada es eliminada de las lagunas a través de las venas endometriales (**Figura 6**).

iv. Gastrulación

La **gastrulación** es uno de los procesos iniciales clave en el desarrollo embrionario, ya que el disco embrionario bilaminar se convierte en un disco trilaminar compuesto por las tres capas germinativas precursoras de todos los tejidos embrionarios (**Figura 7**).

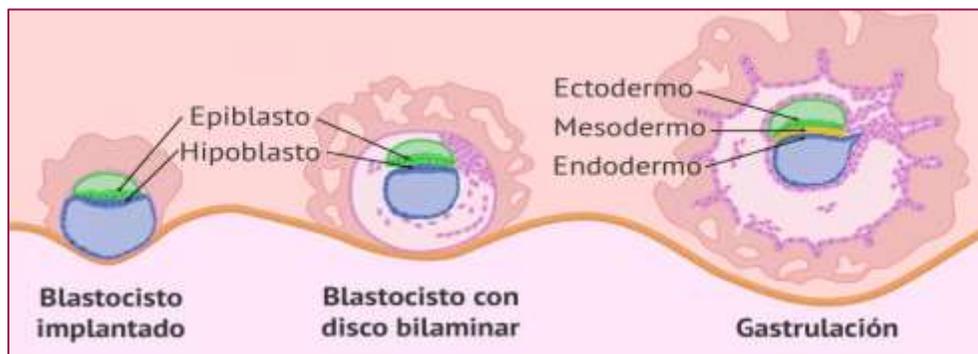


Figura 7. Gastrulación. Diferenciación ectodermo, mesodermo y endodermo, a partir del disco germinativo bilaminar. (Fuente: <https://www.reproduccionasistida.org/gastrulacion>).

Este evento, representa el comienzo de la morfogénesis (desarrollo de la configuración o forma del cuerpo) y es el acontecimiento más importante durante la tercera semana. A lo largo de este período, el embrión puede denominarse **gástrula**. Las proteínas morfogenéticas óseas y otras moléculas como los factores de crecimiento fibroblástico (**FGF, fibroblast growth factor**), Shh (**Sonic hedgehog**), Tgif y Wnt desempeñan una función clave en la gastrulación.

El primer signo morfológico de la gastrulación es la formación de la línea primitiva en la superficie del **epiblasto** del disco embrionario, la cual aparece caudal y medialmente como una banda lineal y gruesa en la parte dorsal del disco embrionario. La **línea primitiva** es el resultado de la proliferación y el movimiento de las células del epiblasto hacia el plano medio del disco embrionario. A medida que la línea primitiva aumenta su longitud, se desarrolla un surco estrecho denominado **surco primitivo**; a consecuencia de la adición de células en su extremo caudal, su extremo craneal prolifera y forma el **nodo primitivo**, alrededor de la **fosita primitiva**. A partir de este cambio morfológico es posible identificar el eje craneocaudal, las superficies dorsal y ventral, y los lados derecho e izquierdo en el embrión.

A partir de la línea primitiva, células del epiblasto migran hacia la parte central, para formar células mesenquimatosas y **endodermo intraembrionario**. Las células mesenquimatosas son fusiformes y pequeñas, dispuestas en una matriz extracelular con un número escaso de fibras de colágeno, que constituyen el **mesénquima**, tejido conjuntivo embrionario que forma el **mesoblasto (mesodermo indiferenciado)**, que a su vez da lugar al **mesodermo embrionario**.

Las células que quedan en el epiblasto forman al **ectodermo**, y así se constituye el disco germinativo trilaminar. Cada una de las tres capas germinativas (**ectodermo, mesodermo y endodermo**) da lugar a tejidos y órganos específicos (**Figura 8**).

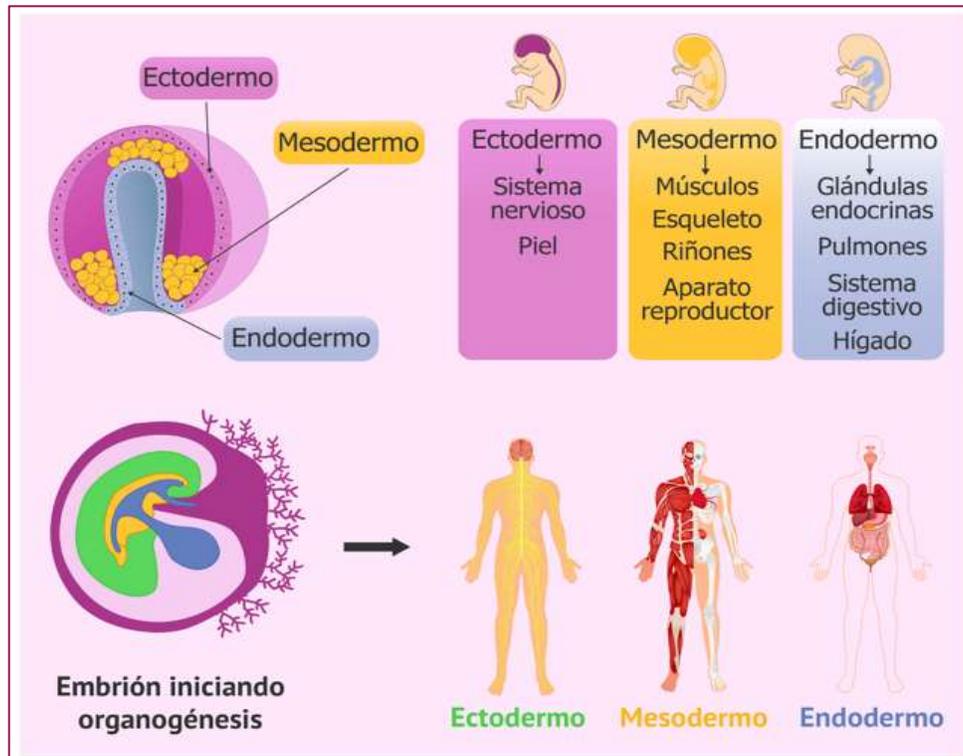


Figura 8. Derivados del Disco Trilaminar. Se muestran los órganos y tejidos provenientes del ectodermo, endodermo y mesodermo. (Fuente: <https://www.reproduccionasistida.org/el-segundo-mes-de-embarazo/gastrulacion-y-desarrollo-de-organos-del-bebe> - <https://www.reproduccionasistida.org/gastrulacion/capas-embrionarias-y-organogenesis>)

v. Formación de la Notocorda

Posterior a la gastrulación, se forma la **notocorda** que es una prolongación cefálica de las células que migran a partir de la fosita primitiva; esta estructura avanza entre el ectodermo y el endodermo, a través de la línea media en dirección cefálica, extendiéndose hasta la placa procordal (**separa a la cavidad oral primitiva de la faringe**). A medida que el proceso notocordal avanza en dirección cefálica, la fosita primitiva se extiende por su interior, dando origen a una luz, por lo que la notocorda pasa a ser un tubo.

La parte ventral del tubo se une al endodermo, que se localiza por debajo y la región de contacto va sufriendo degeneraciones hasta su completa desaparición; de este modo, queda establecida una comunicación temporal entre el saco vitelino y el amniótico, a través de la fosita primitiva.

Posteriormente, el proceso notocordal se dobla y vuelve a tornarse una estructura maciza y el endodermo se vuelve a formar de manera continua debajo de ella, en el techo del **saco vitelino primitivo**.

En ese momento, la notocorda forma un eje en la línea media que es la base como agente inductor, para la formación del **esqueleto axial**. Es también la notocorda que induce al ectodermo a formar el sistema nervioso central.

vi. Neurulación

Los procesos implicados en la formación de la placa neural, de los pliegues neurales y su cierre, para formar el tubo neural, se denominan **neurulación**. A principios de la tercer semana de vida intrauterina, la inducción que ejerce la notocorda sobre el ectodermo produce que este último se diferencie en **neuroectodermo**, e incrementa en grosor para formar la **placa neural**; dicha placa se localiza en el dorso del embrión entre la membrana bucofaríngea y el nódulo primitivo.

Al finalizar la tercera semana, durante el crecimiento embrionario, la placa neural se alarga en dirección cefalocaudal y sus bordes laterales se elevan, dando como resultado a los **pliegues neurales** que delimitan al **surco neural**.

Gradualmente, los pliegues neurales se aproximan a la línea media hasta que se fusionan y forman el **tubo neural**, cuyo epitelio se torna pseudoestratificado y se le denomina **neuroepitelio**. El tubo neural permanece abierto de manera temporal en sus extremos cefálico y caudal, formando los neuroporos anterior y posterior, respectivamente, que comunican con la cavidad amniótica. El neuroporo anterior se cierra aproximadamente en el día 25 (± 2), mientras que el posterior lo hace dos días después (27 ± 2).

Cuando se cierran los neuroporos, la región craneal del tubo neural se expande y forma tres dilataciones llamadas **vesículas cerebrales primarias**: la vesícula más rostral se denomina prosencéfalo (**cerebro**

anterior), la vesícula medial se conoce como mesencéfalo (**cerebro medio**) y la vesícula más caudal es el rombencéfalo (**cerebro posterior**).

Las células del borde lateral de cada uno de los pliegues neurales se diferencian y originan las células de la **cresta neural**, las cuales se disocian y salen del neuroectodermo cuando se cierra el tubo neural. Posteriormente, estas células migran activamente hacia el mesodermo y sufren una transición mesenquimatosas, por lo que dan origen a diversos tejidos, como ganglios espinales, células de Schwann, meninges, melanocitos, médula de la glándula suprarrenal, huesos y tejidos conectivos de la región de cabeza y cuello, etc.

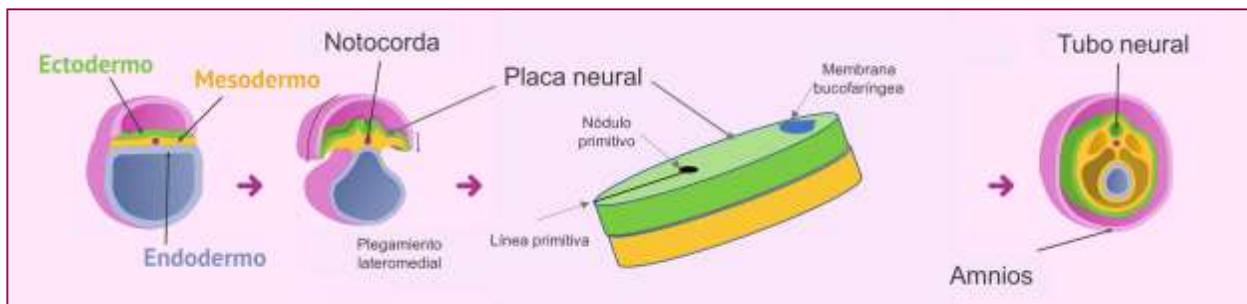


Figura 9. Neurulación. La notocorda induce la formación de la placa neural, a partir de la cual se da el proceso de neurulación. (Fuente: Modificada de <https://www.reproduccionasistida.org/quinta-semana-de-embarazo/inicio-de-la-organogenesis>).

vii. Segmentación del Saco Vitelino

El plegamiento cefalocaudal simultáneo al latero-medial produce una constricción relativa en la zona de unión del embrión y el **saco vitelino primitivo**, para dar origen al **saco vitelino**. Parte del endodermo del saco vitelino queda incorporado en el embrión y forma el intestino primitivo anterior, entre el encéfalo y el corazón. La membrana bucofaringea separa el intestino primitivo anterior del estomodeo, que es el primordio de la cavidad oral. Tras el plegamiento de la cabeza, el septo transversal queda situado por debajo del corazón, el cual posteriormente se transformará en el tendón central del diafragma. El plegamiento de la cabeza también influye en la disposición del celoma embrionario (**primordio de las cavidades corporales**). Antes del plegamiento, el celoma está constituido por una cavidad aplanada y con

forma de herradura. Después de este, el celoma pericárdico queda situado ventralmente respecto al corazón y cranealmente respecto al septo transverso. En esta fase, el celoma intraembrionario muestra a cada lado una comunicación amplia con el celoma extraembrionario.

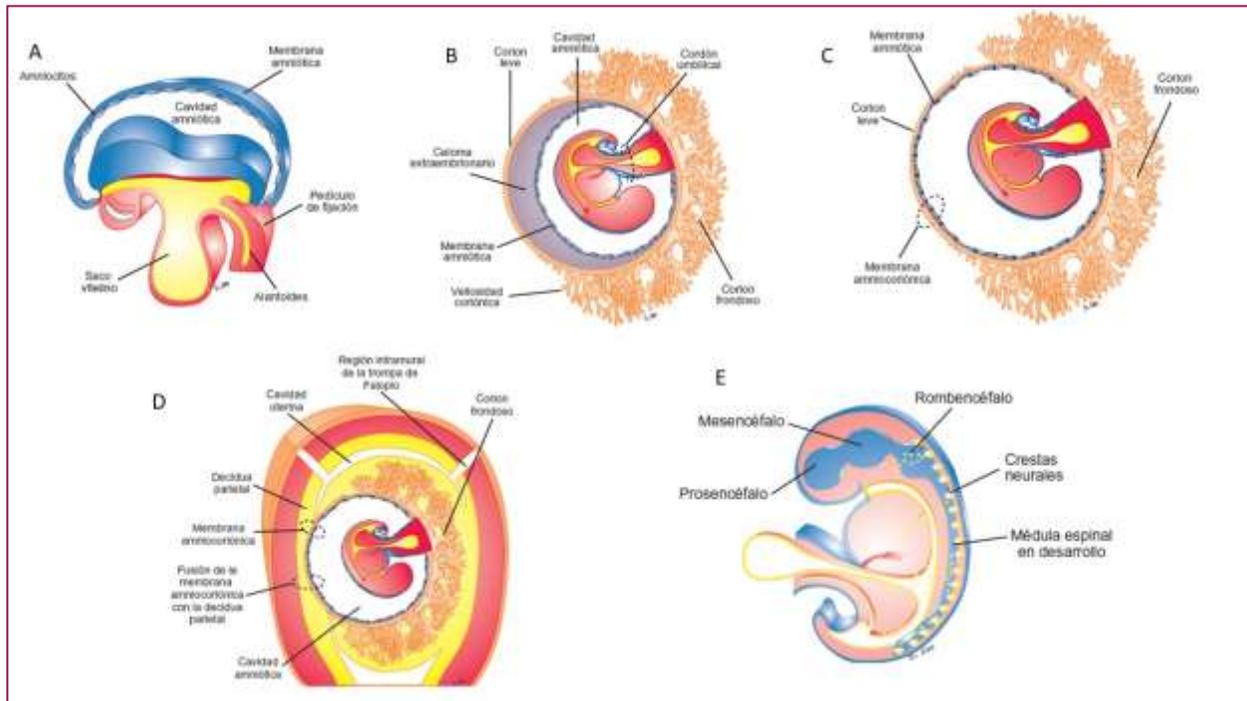


Figura 10. Segmentación del Saco Vitelino. A) un embrión al final de la tercera semana del desarrollo. B) Comienza una obliteración que formará el cordón umbilical. C) La membrana amniótica se fusiona con el corion formando la membrana amniocorionica. D) Se fusionan la membrana amniocorionica con la pared parietal. E) Comienza el desarrollo somítico y el desarrollo de las vesículas cerebrales primarias. (Fuente Modificada: <https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1476§ionid=95224783>).

viii. Somitas

El mesodermo intraembrionario hacia cada lado de la notocorda, se divide en tres segmentos: paraaxial, intermedio y lateral. Hacia el final de la tercera semana, el mesodermo paraaxial se divide en porciones en un sentido cefalo-caudal, los cuales se denominan **somitómeras** y por tanto, están constituidas por células mesodérmicas, dispuestas de forma arremolinada. A partir de la región occipital se denominan **somitas** (del griego soma, «cuerpo») y se localizan a cada lado del tubo neural. Durante el período somítico del

desarrollo humano (**días 20 a 30**) se forman unos 38 pares, hacia el final de la quinta semana hay de 42 a 44. Las somitas generan zonas de protrusión bien definidas en la superficie del embrión y tienen una configuración relativamente triangular, por lo que durante la cuarta y quinta semana, se utilizan como criterio para determinar la edad del embrión.

Las células de las paredes ventral y medial de cada somita, pierden su configuración compacta y migran hacia la notocorda, en conjunto se denominan **esclerotoma** y dan origen a un tejido laxo denominado mesenquima. Este tejido rodea a la médula espinal y a la notocorda para formar la columna vertebral.

Por otro lado, las células de la pared dorsal (**dermiomiotoma**) experimentan modificaciones y originan a un nuevo grupo celular que constituye al miotoma; cada **miotoma** forma el tejido muscular para el segmento correspondiente. Posterior a la formación del miotoma, las células del dermiomiotoma pierden las características epiteliales y migran a la profundidad, para formar la dermis y el tejido subcutáneo, estableciéndose como **dermatoma**.

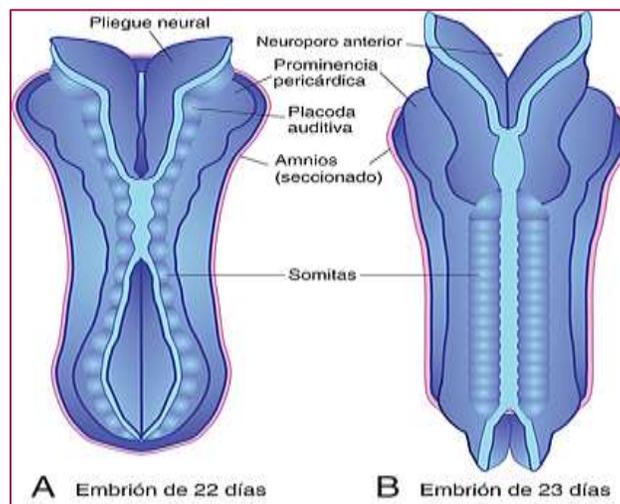


Figura 11. Formación de las Somitas. A) Esquema donde se muestra el embrión en el día 22 donde aún se percibe el pliegue neural. B) Para el día 23, comienza el cierre del pliegue neural dando lugar al neuroporo anterior y el neuroporo posterior. (Fuente: Ricardo Paniagua, Manuel Nistal, Pilar Sesma, Manuel Álvarez – Uría, Benito Fríalo, Román Andón, Francisco José Sánchez: Biología del desarrollo celular y molecular, 4ª Edición).

6. Arcos Faríngeos

En la cuarta semana de gestación, comienza la migración de las células de la cresta neural y se disponen ventralmente al encéfalo en desarrollo. En la parte central de la cara, se evidencia una depresión central denominada **estomodeo** o también conocida como cavidad oral primitiva, separada de la faringe primitiva mediante una membrana bilaminar constituida por ectodermo en la parte externa y endodermo en la interna, la **membrana bucofaríngea**. La membrana bucofaríngea se rompe hacia los 26 días, estableciendo comunicación entre la faringe y el intestino primitivo con la cavidad amniótica.

Alrededor del estomodeo se identifican varios relieves distribuidos de manera céfalo-caudal, que constituyen los **arcos faríngeos**. El aparato faríngeo está conformado por arcos, bolsas, surcos y membranas faríngeas; estructuras embrionarias responsables de la **formación de la cara y el cuello**.

El primer par de arcos faríngeos, aparece como dos elevaciones superficiales en las paredes laterales de la faringe en desarrollo, que deriva del intestino primitivo anterior y se divide en dos prominencias, la maxilar y la mandibular. Posteriormente, a cada lado de las regiones futuras de la cabeza y el cuello se desarrollan otros arcos que se disponen oblicuamente; hacia el final de la cuarta semana se pueden ver externamente cuatro pares de arcos faríngeos. Los arcos quinto y sexto son rudimentarios y no son visibles en la superficie del embrión.

Cada arco contiene una arteria, un nervio, músculo y cartílago, de los cuales derivan ciertas estructuras de la cabeza y el cuello. Incluido en el mesénquima de cada arco se encuentra una arteria, la cual emerge del saco aortopulmonar y termina en alguna de las aortas dorsales; en su trayecto rodean lateralmente a la faringe primitiva. Los **arcos aórticos** aparecen y desaparecen de manera secuencial, es decir, cuando se desarrolla el sexto par, ya han desaparecido el primero y el segundo.

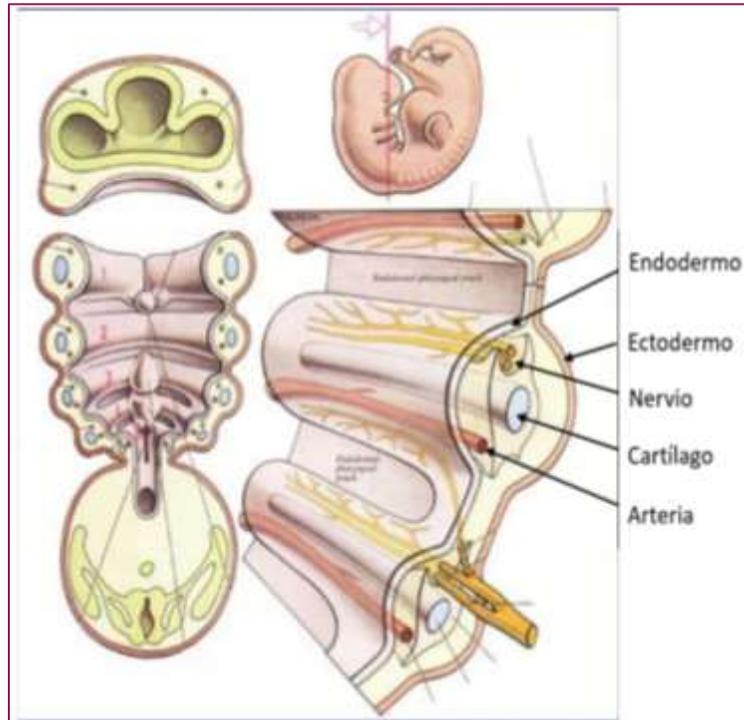


Figura 12. Arcos Faríngeos. Esquema donde se muestran los contenidos de los arcos faríngeos. (Fuente: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQKU2OI4C_tnnXrdOenzogcPKKaSEqvSEXSmQHBU1m57gLzEk_CQt6ShKQqEhLtSTyZxs&usqp=CAU).

Tabla 3. Derivados de los Arcos Aórticos.

Primer Arco Aórtico	<ul style="list-style-type: none"> • Desaparece la mayor parte de su estructura pero da una porción de la arteria maxilar
Segundo Arco Aórtico	<ul style="list-style-type: none"> • Arteria Estapedia • Arteria Hioidea
Tercer Arco Aórtico	<ul style="list-style-type: none"> • Porción proximal: arteria Carótida Común o Primitiva • Porción distal: primera porción de la arteria Carótida Interna • Arteria Carótida Externa (algunas referencias indican que también la forman el primer y segundo arco) • La arteria carótida común izquierda queda como rama del cayado aórtico mientras que la derecha queda como rama del tronco arterial braquiocefálico. • El resto de las carótidas internas deriva de la aorta dorsal.

Cuarto Arco Aórtico	Porción Derecha: <ul style="list-style-type: none"> • Arteria Subclavia (porción proximal) • El resto de la arteria subclavia derecha es aportado por la Aorta Dorsal derecha (porción medial) 	Porción Izquierda: <ul style="list-style-type: none"> • Parte del Cayado Aórtico (desde la arteria carótida común izquierda hasta la arteria subclavia izquierda)
Quinto Arco Aórtico	El quinto arco rara vez se reconoce, no da derivados.	
Sexto Arco Aórtico	Porción Derecha: <ul style="list-style-type: none"> • Porción proximal de la Arteria Pulmonar Derecha. 	Porción Izquierda: <ul style="list-style-type: none"> • Porción proximal de la arteria pulmonar izquierda. • Ductus arterioso (porción distal del arco)

Tabla 4. Derivados de los Arcos Faríngeos.

Arco Faríngeo	Hueso y cartílago	Musculo	Nervio	Arteria
Primer Arco	Cartílago de Meckel (martillo y yunque, ligamento anterior del martillo, ligamento esfenomandibular) Primordio mandibular el cual se forma por osificación yuxtaparacondral. Proceso Maxilar Proceso cigomático Porción escamosa de los huesos temporales	Músculos de la masticación: Temporales Maseteros Pterigoideos mediales y laterales. Milohioideo Vientre anterior del digástrico Tensor del tímpano Tensor del velo palatino.	Trigémino (V nervio craneal) Nervio sensorial principal de la cabeza. Nervio motor de los músculos de la masticación. Las ramas maxilar y mandibular inervan los dientes en sus porciones terminales así como a las mucosas bucales y nasales.	Maxilar Porción de la Carótida externa
Segundo Arco	Cartílago de Reichert (estribo, proceso estiloides)	Músculos de la expresión facial:	Facial (VII nervio craneal)	Estapedia Hioidea

	del temporal, ligamento estilohioideo y porción superior y astas menores del hueso hioides)	Buccinador Auricular Platisma Frontal Orbicular de los labios Orbicular de los Párpados Musculo del estribo Estilohioideo Vientre posterior del digástrico.	Inerva la porción anterior de la lengua y los músculos de la expresión facial.	Porción de la carótida externa
Tercer Arco	Mitad inferior y astas mayores del hueso hioides	Estilofaríngeo	Glossofaríngeo (IV Nervio Craneal) Inerva la porción posterior de la lengua y mucosa de la laringe.	Carótidas comunes Porción proximal de las carótidas internas Porción de la carótida externa
Cuarto Arco	Se fusiona con el sexto arco y dan origen a los cartílagos laríngeos exceptuando la epiglotis	Cricotiroideo Elevador del velo del paladar Constrictores: faríngeos, laríngeos. Musculatura estriada del esófago	Vago (X Nervio Craneal) Inerva principalmente la mucosa de la faringe.	Segmento del cayado aórtico Porción proximal de la subclavia
Quinto Arco	Se oblitera			
Sexto Arco	Se fusiona con el cuarto arco y dan origen a los cartílagos laríngeos exceptuando la epiglotis	Cricotiroideo Elevador del velo del paladar Constrictores: faríngeos, laríngeos.	Vago (X Nervio Craneal) Inerva principalmente la mucosa de la faringe.	Porción proximal de las arterias pulmonares Porción distal del ductus arterioso.

Musculatura
estriada del esófago

Cada uno de los arcos está separado entre sí en la parte externa por los **surcos o hendiduras faríngeas**, constituidos por ectodermo y los cuales de manera similar a los arcos, se enumeran con una secuencia craneocaudal. Si bien, en total son 4 surcos, solo el primero contribuye a la formación de estructuras adultas, constituye el conducto auditivo externo; del segundo al cuarto quedan atrapados por el seno cervical y se obliteran de manera conjunta a medida que se desarrolla el cuello, entre la quinta y séptima semana de vida intrauterina. Al fondo de los cuatro surcos se encuentran las **membranas faríngeas**, que quedan interpuestas entre un surco y una bolsa. Solo la primera membrana contribuye a la formación de una estructura adulta, parte de la membrana timpánica.

Por la parte interna, cada arco está separado del contiguo por estructuras de endodermo denominadas **bolsas faríngeas**. Hay cuatro pares de bolsas y su recubrimiento endodermico da origen a órganos importantes de cabeza y cuello.

Tabla 5. Derivados de las Bolsas Faríngeas.

Bolsa Faríngea	Derivado
Primera Bolsa	Cavidad Timpánica Antro Mastoideo Tuba auditiva Membrana timpánica
Segunda Bolsa	Amígdalas Fosas y criptas amigdalinas
Tercer Bolsa	Mayor parte del timo Paratiroides inferiores

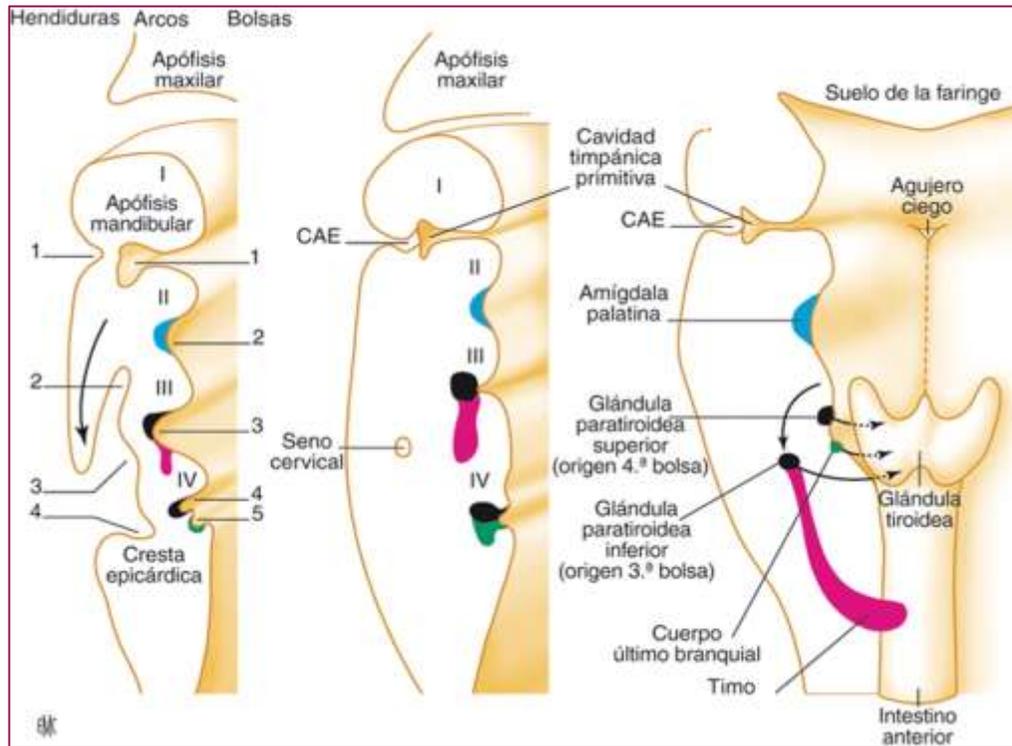


Figura 13. Bolsas y Hendiduras Faríngeas. Se muestra el proceso de desarrollo del aparato faríngeo y las estructuras anatómicas derivadas de las bolsas y las hendiduras faríngeas. (Fuente: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1280470310704412-gr1.jpg>).

7. Desarrollo de la lengua

Durante la cuarta semana se observan los esbozos linguales, formados por las dos protuberancias linguales laterales, el tubérculo impar y la eminencia hipobranquial o cópula **(que se desarrolla a partir de los arcos 2do, 3ro y 4to)**. Las dos primeras estructuras se unen entre sí para dar origen a los 2/3 anteriores de la lengua, quedando el tercio posterior formado por la cópula. El límite de estas regiones se ve marcado por la "V" lingual, en cuyo vértice se encuentra el **agujero ciego**, orificio que deja la glándula tiroidea al formarse de este sector y luego migrar hacia abajo. Debido al origen a partir de diferentes arcos

faríngeos, la parte anterior está inervada por el trigémino y la posterior por el glossofaríngeo y el vago. Por su parte, **los botones gustativos** reciben inervación del facial en la porción anterior y del glossofaríngeo y vago en la posterior, aunque el glossofaríngeo cruza parte del límite de la "V" lingual que diferencia la porción anterior de la posterior. La lengua está separada en sus dos tercios anteriores del piso de la boca por una proliferación endodérmica que genera una membrana entre el piso y la lengua, que luego se reabsorbe quedando únicamente el frenillo como vestigio.

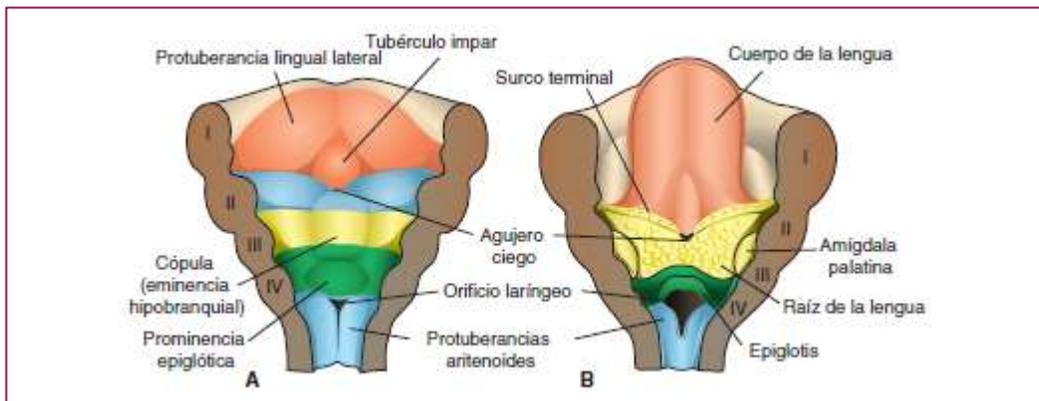


Figura 14. Desarrollo de la lengua. Se muestra el proceso de desarrollo de la lengua. (Fuente: <https://omarbravomedicina.files.wordpress.com/2018/04/embriologia-de-la-tiroides.png?w=636&h=241>).

8. Desarrollo de la cara

El **primordio facial** aparece al comienzo de la cuarta semana y alrededor del estomodeo. El desarrollo facial depende de la influencia inductiva de los centros de organización prosencefálico y rombencefálico. El centro de organización prosencefálico incluye el mesodermo precordial que se localiza en la línea media por delante de la notocorda y que cubre la supuesta placa neural prosencefálica. El límite entre el mesencéfalo y el rombencéfalo es un centro de señales que dirige la organización espacial de las estructuras del mesencéfalo caudal y del rombencéfalo rostral.

Los cinco primordios faciales que aparecen en forma de prominencias alrededor del estomodeo son la **prominencia frontonasal**, las **prominencias maxilares bilaterales** y las **prominencias mandibulares bilaterales**.

Las prominencias maxilares y mandibulares son derivados del primer par de arcos faríngeos. Estas prominencias se deben principalmente a la expansión de poblaciones celulares de la cresta neural que se originan a partir de los pliegues neurales mesencefálico y rombencefálico rostral durante la cuarta semana. Estas células constituyen la fuente principal de los componentes del tejido conjuntivo, incluyendo el cartílago, el hueso y los ligamentos de las regiones facial y oral. La prominencia frontonasal (**PFN**) rodea la parte ventral lateral del prosencéfalo que da lugar a las vesículas ópticas que forman los ojos. La parte frontal de la PFN forma la frente; la parte nasal forma el límite rostral del estomodeo y de la nariz. Las prominencias maxilares forman los límites laterales del estomodeo y las prominencias mandibulares constituyen el límite caudal del estomodeo.

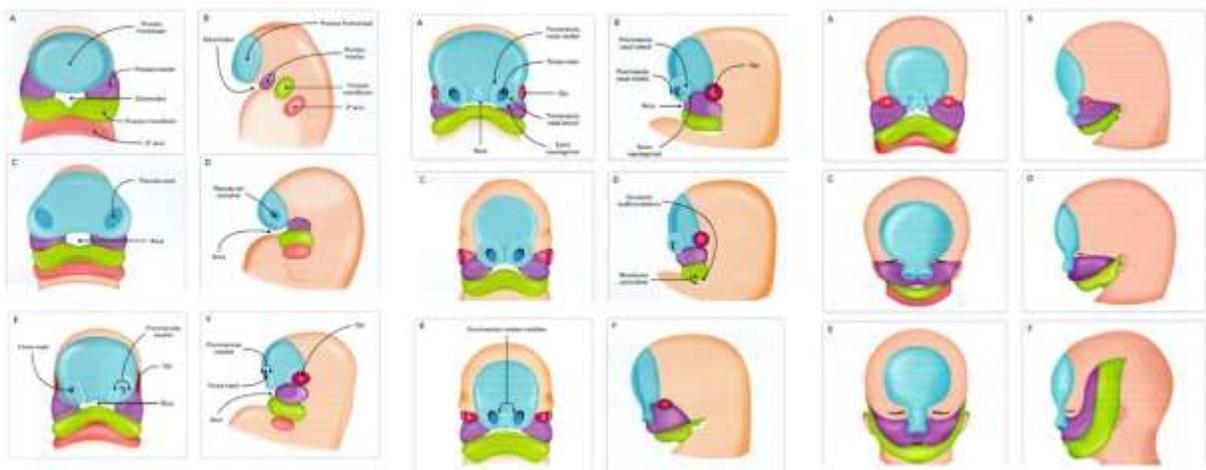


Figura 15. Desarrollo de la Cara. Se muestran diferentes esquemas a partir de la semana 4 al término de la vida intrauterina y los cambios que surgen durante su desarrollo. (Fuente Modificada: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQXH5zzRH-MFvkQ2jDAC5NNUmXU-JVgU7Wvdw&usqp=CAU>).

Hacia la cuarta semana, se producen engrosamientos ovales bilaterales del endodermo superficial que darán lugar a las **placodas nasales**; inicialmente son convexas y después se estiran. Posteriormente, el mesénquima de los márgenes de las placodas prolifera y se eleva en forma de herradura, lo que forma las **prominencias nasales medial y lateral**, cada una de las cuales posee una depresión central llamadas fosas nasales, primordios de las narinas anteriores (**orificios nasales**) y las cavidades nasales. Al principio los sacos nasales están separados de la cavidad oral por la membrana buconasal que se rompe a finales de la sexta semana.

La proliferación del mesénquima en las prominencias nasales continúa y provoca que las mediales se acerquen entre sí; de manera paralela las prominencias mediales alcanzan a las prominencias maxilares, las cuáles también se dirigen hacia la línea media. Cada prominencia nasal lateral está separada de las maxilares por una hendidura conocida como **surco nasolagrimal**.

En la séptima semana el epitelio ectodérmico del techo de cada cavidad nasal se especializa para formar el epitelio olfatorio, donde algunas células epiteliales se diferencian y dan lugar a células receptoras olfatorias, los axones de dichas células constituyen los nervios olfatorios, que crecen hacia los bulbos olfatorios.

En la octava semana se desarrollan los cornetes superior, medio e inferior, como elevaciones de las paredes laterales de las cavidades nasales que proveen a la nariz de una mayor superficie mucosa para la entrada y calentamiento de aire.

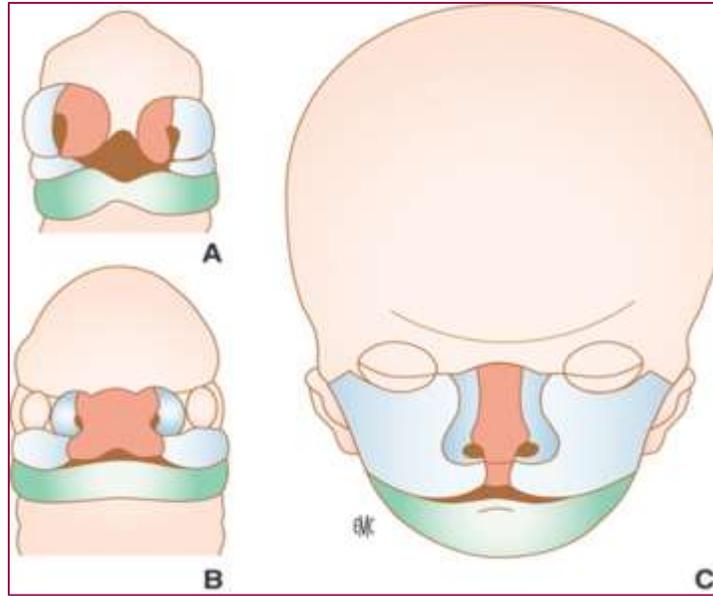


Figura 16. Desarrollo de la nariz. Se observa como los procesos nasales y faciales convergen y se fusionan. (Fuente: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1632347507706677-gr1.jpg>).

9. Formación del paladar duro

El paladar está constituido por el **paladar primario** y el **paladar secundario**. El paladar primario es una pequeña lámina triangular con base en anterior, que crece en la porción medial de los procesos nasales; mientras que el paladar secundario es el que se desarrolla de los procesos palatinos. Los **procesos palatinos** son dos placas laterales que poco a poco se unen en el centro, primero en la porción anterior que se une al paladar primario y luego en la porción posterior. Esta unión se ve bloqueada al inicio de la formación de la lengua, ya que esta queda interpuesta en el camino del cierre palatino medial. Una vez que la lengua baja hacia el piso de la boca, cede paso para la unión de los procesos palatinos secundarios. En la porción anterior se osifican los paladares primario y secundario y en la porción posterior no se osifican, dando lugar al paladar blando.

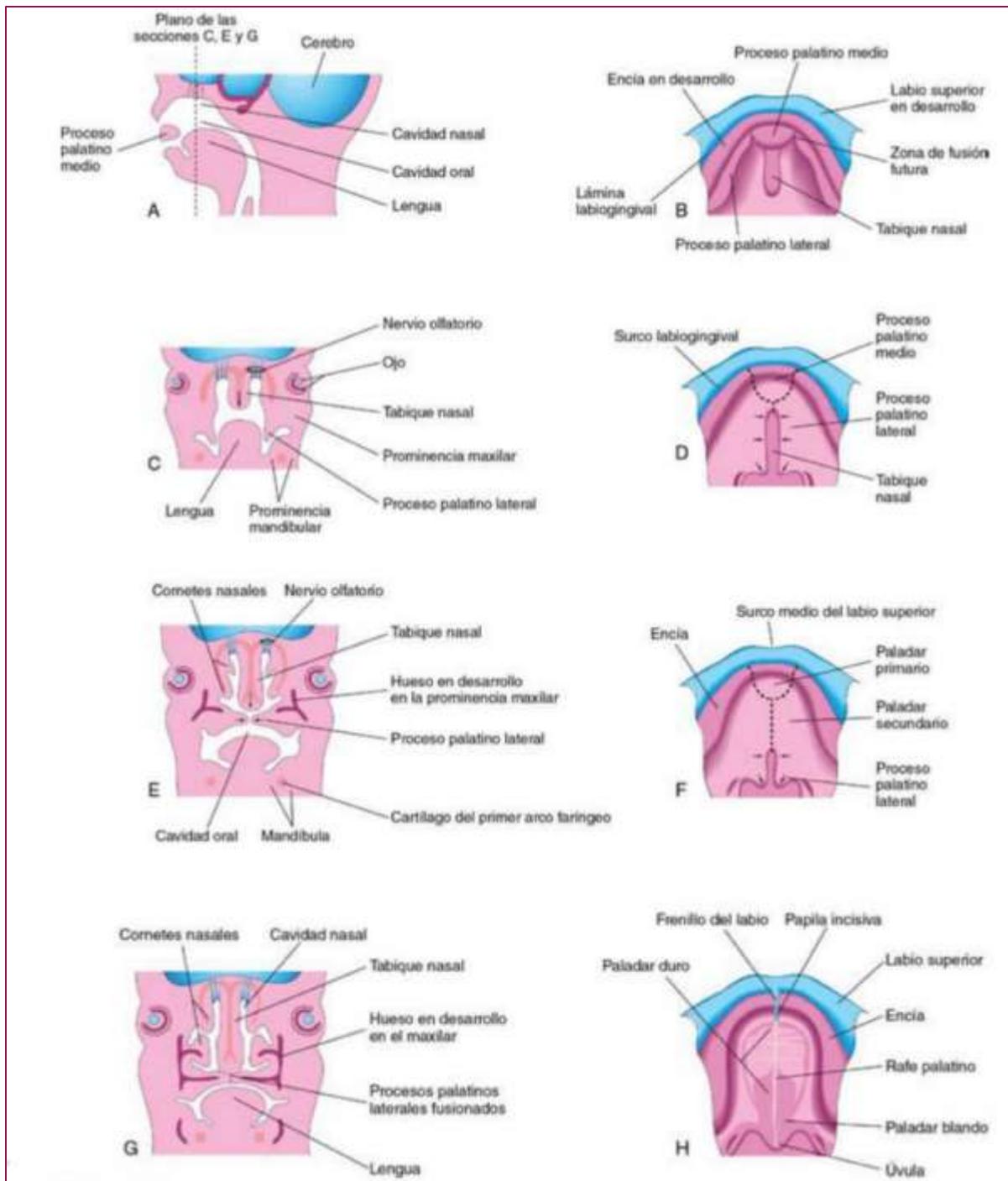


Figura 17. Desarrollo del paladar. A, Sección sagital de la cabeza del embrión al final de la sexta semana, con demostración del proceso palatino medio. B, D, F, y H Techo de la boca entre las semanas 6 y 12, con ilustración del desarrollo del paladar. Las líneas de guiones en D y F indican las zonas de fusión de los procesos palatinos. Las flechas indican el crecimiento medial y posterior de los procesos palatinos laterales. C, E y G, Secciones frontales de la cabeza con ilustración de la fusión entre sí de los procesos palatinos laterales, del tabique nasal y de la separación entre las cavidades nasal y oral. (Fuente: https://static.filadd.com/files/f%2374588/html/external_resources/bg6.png).

10. Odontogénesis

Los dientes se encuentran incluidos en espacios óseos llamados alvéolos, en cuyas paredes se fijan por medio de un tejido conectivo denso que recibe el nombre de ligamento periodontal. La porción localizada en el interior del alvéolo se llama raíz; la porción visible se llama corona.

Cada diente está formado por: pulpa, que es un conducto ocupado por tejido conectivo laxo por el cual transitan los vasos sanguíneos y nervios del diente. Alrededor de la pulpa existe un tejido conectivo calcificado conocido como dentina. La dentina de la corona está cubierta por una sustancia muy dura llamada esmalte, mientras que la raíz se rodea de un tejido óseo especial llamado cemento. El ligamento periodontal se extiende desde el cemento hasta el hueso del alvéolo.

Existen dos tipos de denticiones: la primera formada por los dientes deciduos o temporales (**20 en total**) y la segunda por los dientes permanentes (**32 en total**).

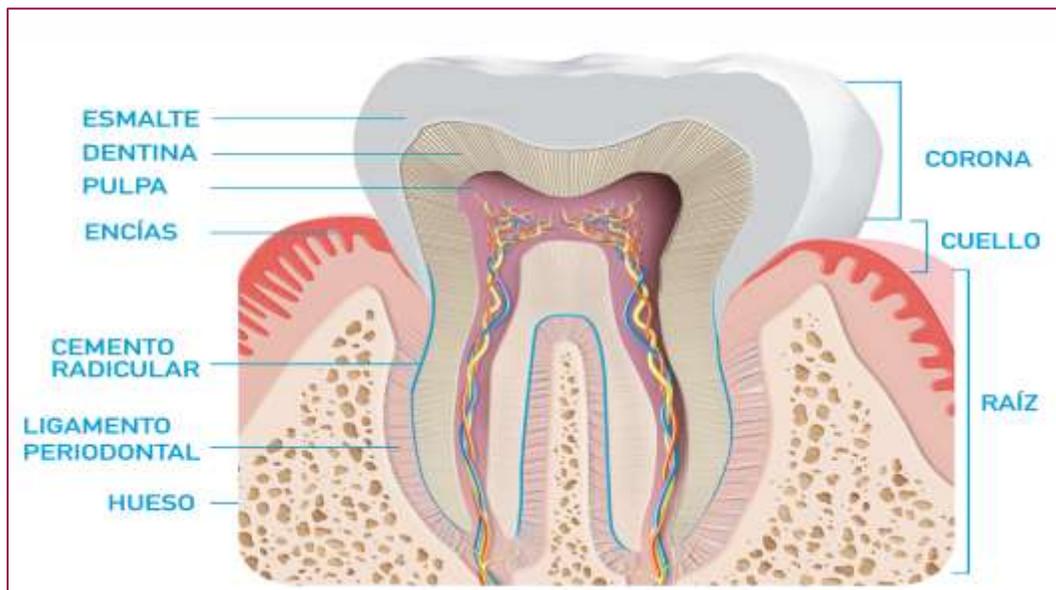


Figura 18. Morfología dental. Esquema que muestra la anatomía de un molar permanente erupcionado con los tejidos que lo componen y los tejidos circundantes. (Fuente: <http://www.tuamigahigienista.es/wp-content/uploads/2019/11/PARTES-DEL-DIENTE.jpg>).

La **odontogénesis** se inicia en la sexta semana de vida intrauterina y se lleva a cabo básicamente en dos fases que son:

- **Morfogénesis o morfodiferenciación**, en esta fase ocurre el proceso de formación del patrón que constituirá la corona del diente y luego la formación del patrón que constituirá la raíz dentaria.
- **Histogénesis o citodiferenciación**, en esta fase ocurre el proceso de formación de los tejidos dentarios: el esmalte, la dentina y la pulpa a partir de los patrones de la corona y la raíz dentaria.

Ambas fases se dan de forma continua y en algún punto se llevan a cabo al mismo tiempo, de ellas el proceso de formación del patrón de la corona dentaria es uno de los procesos más importantes y complejos de la odontogénesis.

Los dientes se desarrollan a partir del **ectodermo (el esmalte)** y **ectomesénquima (la dentina, pulpa y cemento)**. Los primeros esbozos se desarrollan en las láminas dentales del ectodermo que se engrosan e invaden el mesodermo subyacente, en las crestas gingivales.

La formación del patrón coronario se da igualmente por etapas que son:

- **Estadio de brote o yema**: Producto de la proliferación de las células de la lámina dentaria, el germen dentario está constituido por células periféricas cuboides y células centrales o internas poligonales.
- **Estadio de Casquete**: En la novena semana del desarrollo embrionario el brote crece en sus caras laterales formando una nueva estructura denominada casquete, en este estadio el germen dentario está constituido por:

- Órgano del esmalte: de origen ectodérmico, que dará origen al esmalte dentario, conformado por: Epitelio dental externo, epitelio dental interno y retículo estrellado.
- Esbozo de la Papila dentaria: estructura de origen ectomesenquimático, que se ubica por debajo del Órgano del Esmalte y que dará origen al complejo dentinopulpar.

- Esbozo de Saco o Folículo Dentario: estructura de origen ectomesenquimático que rodea a todo el germen dentario, que dará origen a los tejidos de soporte del diente (**Periodonto de Inserción**).

- **Estadio de Campana Temprana:** Esta etapa se inicia alrededor de las 14 – 18 semanas de vida intrauterina y en ella se detectan cambios importantes en la estructura del germen dentario, tales como la conformación de la morfología coronaria, aparición de nuevas capas y la aparición del brote del germen dentario del diente permanente. Aunado a esto se inician los cambios que se corresponden con el inicio de la citodiferenciación. En este estadio se observan las siguientes estructuras en el germen dentario:

- Órgano del esmalte: - Epitelio dental externo, retículo estrellado, estrato intermedio, epitelio dental interno, asas cervicales y membrana basal.
- Papila dentaria
- Saco o Folículo dentario: Capa celulovascular y capa fibrilar.

- **Estadio de Campana Tardía:** Esta constituye la última etapa en el proceso de morfodiferenciación coronario y en este estadio logra evidenciarse el proceso de citodiferenciación (**diferenciación de odontoblastos y ameloblastos**) y por consecuencia el inicio de formación de los tejidos duros del diente. En este momento los cambios visibles presentes en el germen dentario son importantes, quedando constituido de la siguiente forma:

- El órgano del esmalte se reduce a nivel de los bordes incisales o en las zonas donde estarán las futuras cúspides en el caso de los dientes posteriores, convirtiéndose en una estructura semejante a un epitelio, de allí a que su nombre cambie a epitelio reducido del Órgano del Esmalte.
- A nivel del tercio medio del germen dentario se mantiene el Retículo Estrellado y el Epitelio Dental Externo.

- A nivel de la unión entre el Epitelio Dental Interno y el Epitelio Dental Externo se iniciará la formación del patrón radicular, por lo que la estructura que fue llamada en el estadio anterior Asa Cervical pasa a ser Vaina Radicular de Hertwig.
- Inicia la aposición de Esmalte a nivel del borde incisal y se continúa hasta llegar a cervical, paralelo al esmalte dentario se observa la Dentina y la predentina; entre ambos se inicia la formación de la conexión amelodentinaria.
- En íntima relación al esmalte y unido al Epitelio Reducido del Órgano del Esmalte se observan los Ameloblastos secretores.
- A nivel de la Papila Dentaria y en íntimo contacto con la Predentina se observan los Odontoblastos secretores.

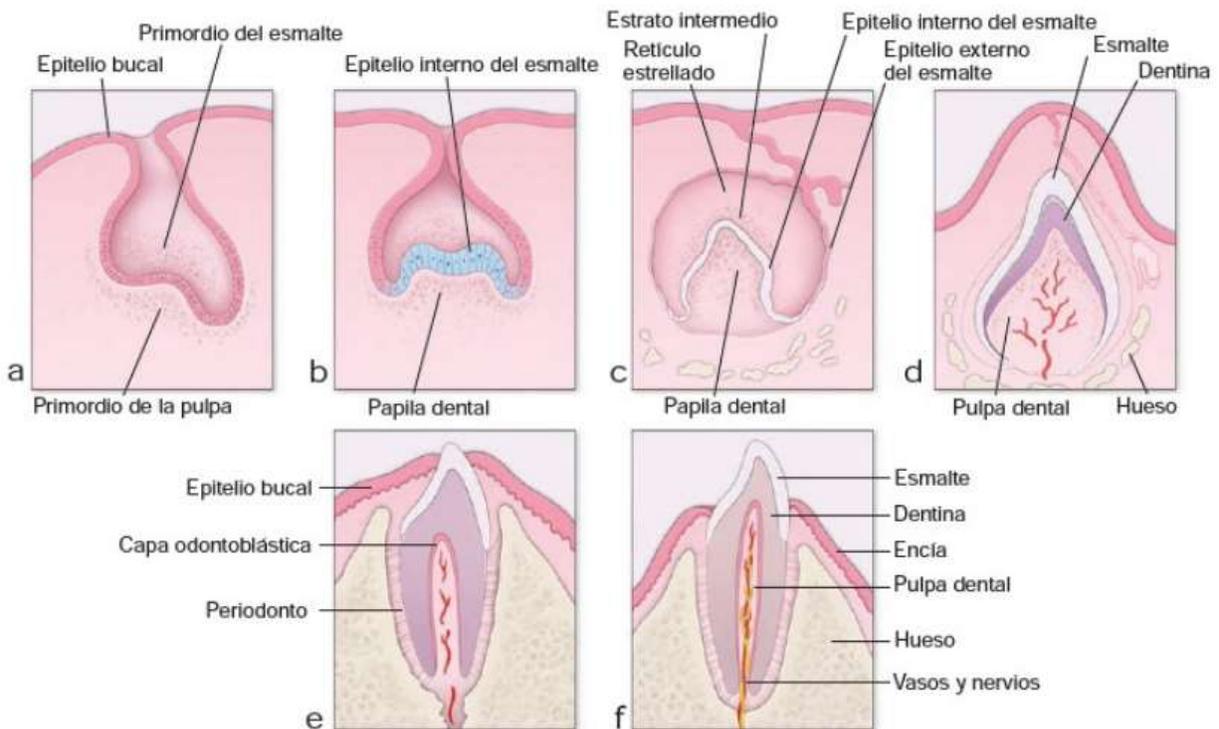


Figura 19. Odontogénesis. Morfogénesis: a) Estadio de brote o yema, b) estadio de casquete, c) estadio de campana temprana, **Histogénesis:** d) estadio de campana tardía, e) conformación de la vaina epitelial de Hertwig, f) comienzo de la erupción dental. (Fuente: <https://i.pinimg.com/originals/e7/54/d7/e754d7d9f4930b4035598526a1af8b2d.png>).

Bibliografía:

- Diccionario: Notocorda. Disponible en: "www.academiagauss.com". Consultado: 1 de julio de 2012.
- Guía de biología: La notocorda. Disponible en: "biologia.laguia2000.com". Consultado: 1 de julio de 2012.
- Keith L. Moore, & T.V.N. Persaud, & Mark G. Torchia. (2020). Embriología Clínica 11a. Ed. España: Elsevier.
- Keith L. Moore, & T.V.N. Persaud, & Mark G. Torchia. (2013). Embriología Clínica 9a. Ed. España: Elsevier.
- Arteaga Martínez, S. M. & García Peláez, M. I. (2013). Embriología Humana y Biología del desarrollo. Editorial Médica Panamericana, México.
- Carlson, B. M. (2014). Embriología Humana y Biología del Desarrollo. 5ª Ed. Elsevier. España.
- Flores, V. (2015). Embriología Humana. Bases moleculares y celulares de la histogénesis, la morfogénesis y las alteraciones del desarrollo. Orientada a la formación médica. 1ª Ed. Editorial Médica Panamericana. México.
- Gilbert, S. F. (2010). Developmental Biology. 9ª Ed. Sinauer. USA.
- Sadler, T. W. (2012). Langman. Embriología médica. 12ª Ed. Wolters Kluwer Health, S.A., Lippincott Williams & Wilkins. USA.
- Patten, Bradley M. Carlson, Bruce M. / Embriología básica de Patten / Editorial Mc Graw - Hill / Mexico – 1990.