

E.E.S.O. 259 “JUAN V. GIMENEZ”



Espacio curricular: Biología I

Curso: 3°"B"

Profesora: Analía Zalazar

Año: 2025

El Desarrollo embrionario

¿Cómo se forma un organismo complejo a partir de una célula?

- Un organismo pluricelular se desarrolla a partir de una sola célula (el **cigoto**) para dar lugar a una colección de muchos tipos de células diferentes, organizadas en tejidos y órganos.
- El desarrollo implica la división celular, la formación del eje corporal, el desarrollo de tejidos y órganos, y la **diferenciación** celular (el lograr una identidad de tipo celular definitiva).
- Durante su desarrollo, las células utilizan tanto información **intrínseca**, o heredada, como señales **extrínsecas** de las vecinas para "decidir sobre" su comportamiento e identidad.
- Por lo general, las células se vuelven cada vez más restringidas en su potencial de desarrollo (los tipos de células que pueden producir) a medida que avanza el desarrollo.

¿Cómo se formó tu complejo cuerpo?

Durante el desarrollo, un humano u otro organismo pluricelular, llevan a cabo una sorprendente transformación, una tan impresionante como la metamorfosis de una oruga que se convierte en una mariposa. En el transcurso de horas, días o meses, el organismo pasa de ser una sola célula llamada **cigoto** (el producto del encuentro del óvulo y el espermatozoide), a una inmensa y bien organizada colección de células, tejidos y órganos.

A medida que el embrión se desarrolla, sus células se dividen, crecen y migran en patrones específicos para producir un cuerpo cada vez más elaborado. Para funcionar correctamente, ese cuerpo necesita **ejes** bien definidos (como cabeza-cola). También necesita una colección específica de **órganos** multicelulares y otras estructuras ubicados en los lugares correctos a lo largo de los ejes y conectados entre sí de la forma adecuada.

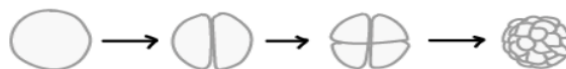
Las células del cuerpo de un organismo deben también especializarse en muchos tipos funcionalmente diferentes a medida que el desarrollo continúa. Tu cuerpo (o inclusive el de un recién nacido) contiene una amplia variedad de **tipos celulares** diferentes, desde neuronas, a células hepáticas, hasta células sanguíneas. Cada uno de estos tipos celulares se encuentra solo en ciertas partes del cuerpo—en ciertos tejidos de ciertos órganos—donde su función es necesaria.

¿Y cómo se va dando esta intrincada danza celular? El desarrollo está en su mayor parte bajo el control de genes. Los tipos de células maduras del cuerpo, como las neuronas y células hepáticas, expresan diferentes conjuntos de genes, que les dan sus propiedades y funciones únicas. De la misma manera, las células *durante* su desarrollo también expresan conjuntos específicos de genes. Estos patrones de expresión genética guían el comportamiento de las células y les permiten comunicarse con sus vecinas, lo que coordina el desarrollo.

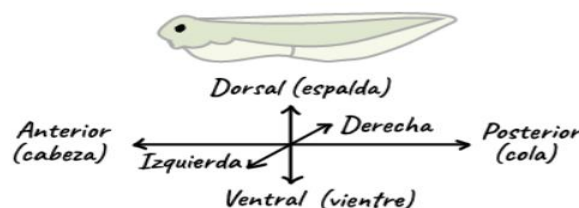
Algunos procesos básicos del desarrollo

Cada organismo se desarrolla de diferente forma, pero hay algunas cosas básicas que deben suceder durante el desarrollo embrionario de casi cualquier organismo.

- El número de células debe incrementarse por división.

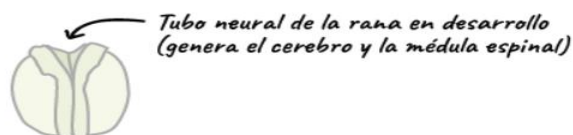


- Deben formarse ejes corporales (cabeza-cola, derecha-izquierda, etc.).



| Diagrama basado en el diagrama del ciclo de vida de la rana según Xenbase².

- Se deben formar tejidos, además los órganos y estructuras deben adoptar sus formas.



- Las células individuales deben adquirir su identidad definitiva de tipo celular (p.ej. neurona).



Para ser más claros, estos procesos no son eventos separados que suceden uno después del otro, sino que se llevan a cabo de manera simultánea a medida que el embrión se desarrolla.

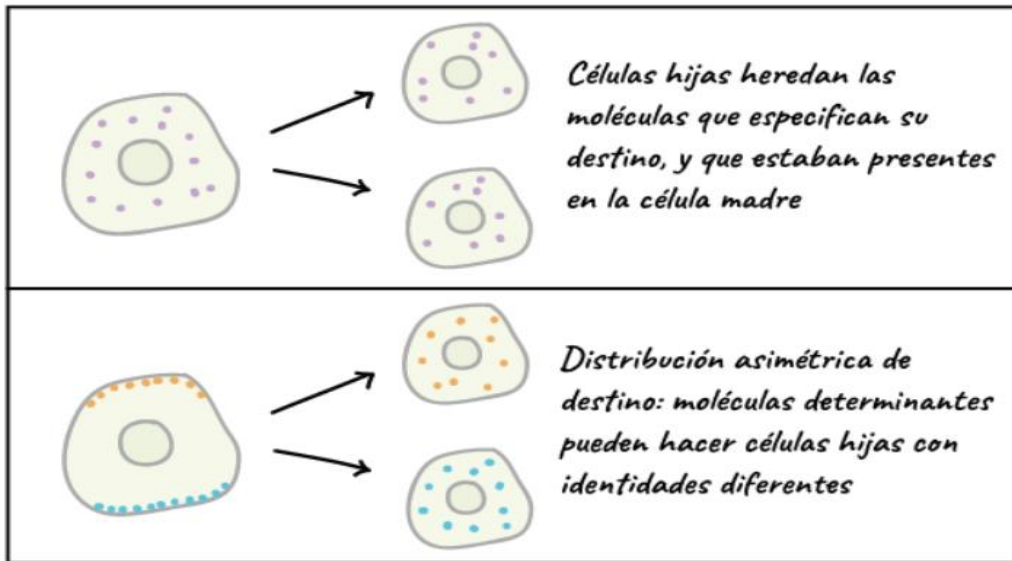
Para ser más claros, estos procesos no son eventos separados que suceden uno después del otro, sino que se llevan a cabo de manera simultánea a medida que el embrión se desarrolla.

Por ejemplo, los diferentes ejes corporales (como cabeza-cola, izquierda-derecha) se establecen en momentos diferentes durante el desarrollo temprano, mientras las células del embrión están dividiéndose. De manera similar, la formación de un órgano requiere división celular para su creación, así como **diferenciación** (células que adoptan su identidad definitiva) para asegurar que las células correctas formen parte de las partes correctas del órgano.

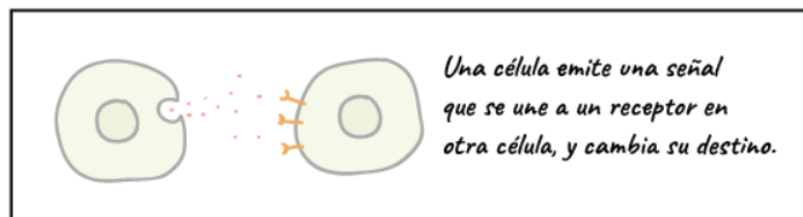
Fuentes de información en el desarrollo

¿Cómo saben las células lo que deben hacer durante el desarrollo? Es decir, ¿cómo sabe una célula el momento y la forma para migrar, dividirse y diferenciarse? En términos generales, hay dos tipos de información que guían el comportamiento de las células:

- Información **intrínseca** (linaje) heredada de la célula madre por división celular. Por ejemplo, una célula puede heredar moléculas que le "digan" que pertenece al grupo de células neuronales o nerviosas.



- Información **extrínseca** (posicional) recibida de los alrededores de la célula. Por ejemplo, una célula puede recibir señales químicas de su vecina, para convertirse en un tipo particular de fotorreceptor (neurona que detecta la luz).



Durante el desarrollo, las células utilizan con frecuencia información intrínseca y extrínseca para tomar decisiones acerca de su identidad y comportamiento. ¡Por supuesto que en realidad no "deciden" al pensar en el problema como lo haríamos tú y yo! En su lugar, las células toman decisiones de la forma que lo haría una calculadora o una computadora: mediante genes y proteínas para realizar operaciones lógicas que calculan la mejor respuesta.

Diferenciación, determinación y células madre

Durante el desarrollo, las células tienden a quedar cada vez más restringidas en su "potencial de desarrollo." ³ Es decir, los tipos de células que pueden producir por división celular (o en las que se pueden convertir directamente) cada vez son menos.

Por ejemplo, un cigoto humano puede dar origen a todos los tipos de células del cuerpo humano, así como las células que componen la placenta. Para usar vocabulario del campo de las células madre, esta habilidad de dar origen a todos los tipos celulares del cuerpo y placenta, hace del cigoto una célula **totipotente**. Sin embargo después de varias etapas de división celular, las células del embrión pierden su habilidad para dar origen a células de la placenta y quedan más restringidas en su potencial (**pluripotente**)⁴. Estos cambios son debidos a alteraciones en el conjunto de genes expresados en las células.

Con el tiempo, las células del embrión se dividen en tres diferentes grupos conocidos como **capas germinales**: mesodermo, endodermo y ectodermo. Cada capa germinal, bajo circunstancias normales, dará origen a un conjunto determinado de tejidos y órganos.

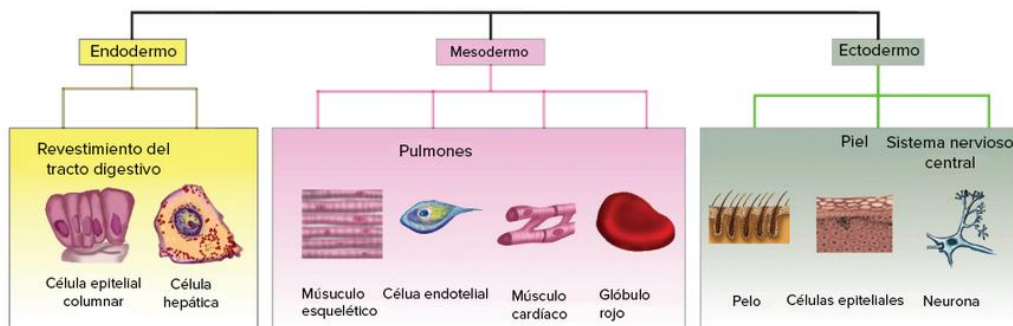
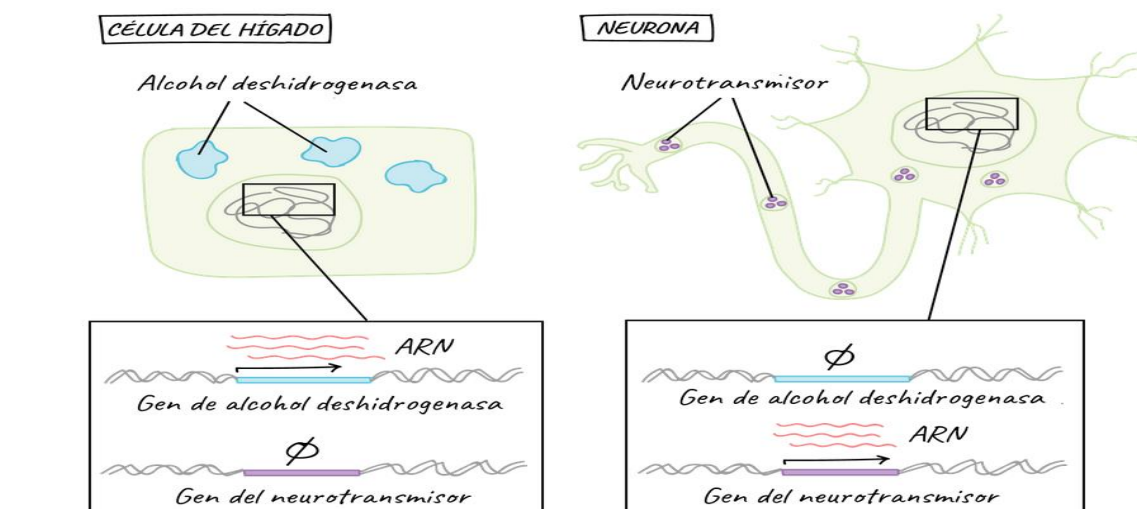


Imagen modificada de [Some of the cells that arise from animal gastrulas with three germ layers](#), por Chinami Michaels, the Embryo Project Encyclopedia, [CC BY-NC-SA 3.0](#)

A medida que las células de una capa germinal continúan dividiéndose, interactuando con sus vecinas y leyendo su información interna, sus "opciones" de destino celular serán cada vez más escasas. Al principio, las células pueden estar **especificadas**, marcadas para cierto destino, pero ser capaces de cambiar con las señales adecuadas. Más adelante, pueden convertirse en **determinadas**, lo que significa que están comprometidas con cierto destino de manera irreversible. Una vez que una célula es determinada, aunque se le mueva a un nuevo ambiente, se diferenciará como el tipo de célula para el que se ha comprometido⁵.

Al final, la mayoría de las células en el cuerpo se **diferencian** o adoptan una identidad estable y definida. Algunos ejemplos de tipos de células diferenciadas en el cuerpo humano incluyen las neuronas, las células que recubren el intestino y los macrófagos en el sistema inmune que devoran invasores bacterianos. Cada tipo de célula diferenciada tiene un patrón de expresión genética específico que mantiene estable. Los genes expresados en un tipo de célula especifican proteínas y ARN funcionales necesarios para ese tipo celular en particular, que le dan la estructura y función correctas para hacer su trabajo.



Por ejemplo, el diagrama de arriba muestra dos genes expresados de manera diferente en una célula hepática y una neurona. Uno de ellos, que codifica parte de una enzima que descompone el alcohol y otras toxinas, se expresa solo en la célula hepática (y no en la neurona). El otro, que codifica un neurotransmisor, se expresa solo en la neurona (y no en la célula hepática). Muchos otros genes se expresarían de manera distinta en estos dos tipos celulares.

Células madre adultas

No todas las células en el cuerpo humano se diferencian. Algunas células en el cuerpo adulto conservan la habilidad de dividirse y producir múltiples tipos de células. Entre ellas están las **células madre adultas**, que por lo general son **multipotentes**: pueden producir más de un tipo de célula, pero no una gran variedad⁴. Por ejemplo, los hemocitoblastos de la médula ósea pueden generar todos los tipos de célula del sistema sanguíneo (abajo), pero no otros tipos como neuronas o células de la piel.

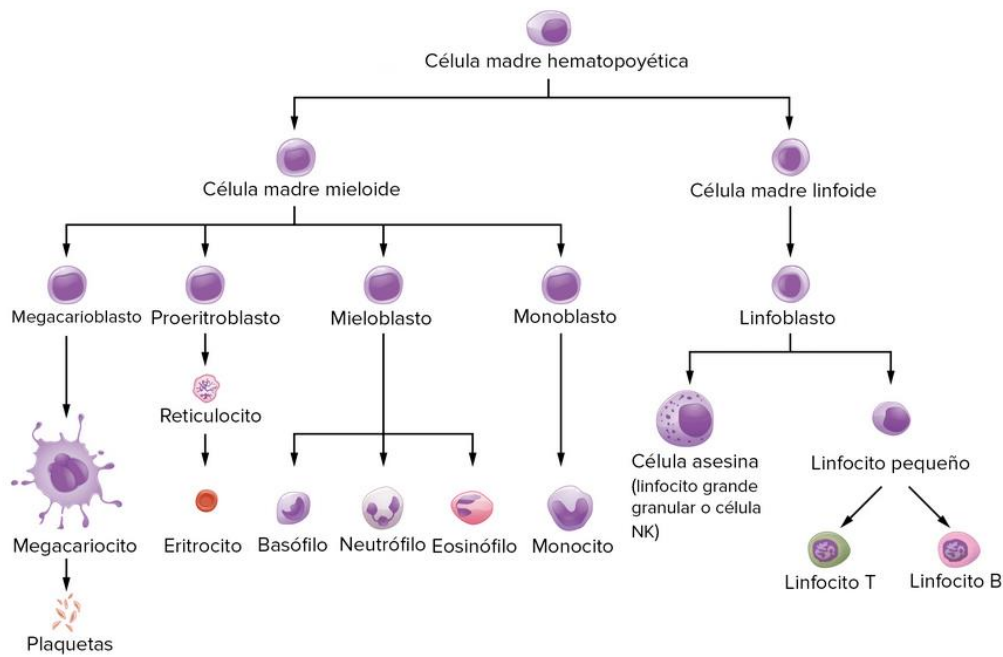


Imagen modificada de [Sistema hematopoyético de la médula ósea](#), por OpenStax College, Anatomy & Physiology, [CC BY 3.0](#)

La marca distintiva de las células madre es que experimentan una **división celular asimétrica**, producen dos células hijas diferentes entre sí. Una de las hijas sigue siendo una célula madre, un proceso llamado **autorenovación** (la célula en división se "renueva" a sí misma creando una hija funcionalmente idéntica). La otra célula hija adopta una identidad diferente, ya sea al diferenciarse directamente como un tipo de célula necesaria o al sufrir divisiones adicionales para crear más células.

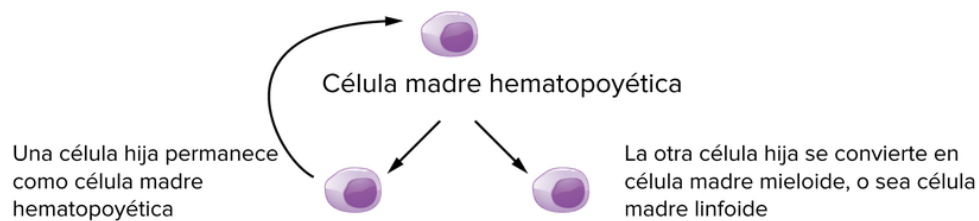


Imagen modificada de [Sistema hematopoyético de la médula ósea](#), por OpenStax College, Anatomy & Physiology, [CC BY 3.0](#)

Fecundación y desarrollo humano

La fecundación es el proceso en el que los gametos haploides se fusionan para formar una célula diploide llamada cigoto. Para garantizar que cada cigoto tiene el número correcto de cromosomas, solo un espermatozoide se puede fusionar con un óvulo.

Etapas de desarrollo humano

1. **Etapas de cigoto:** el **cigoto** se forma cuando el gameto masculino (espermatozoide) y el femenino (óvulo) se fusionan.
2. **Etapas de blastocisto:** el cigoto unicelular se comienza a dividir en una masa sólida de células. Luego se convierte en una masa hueca de células llamada **blastocisto** y se pega al recubrimiento del útero de la madre.
3. **Etapas embrionaria:** comienzan a surgir los principales órganos internos y características externas, y se forma un **embrión**. En esta etapa, aparecen el corazón, cerebro y médula espinal. Los brazos y piernas se comienzan a desarrollar.
4. **Etapas fetal:** cuando las características formadas del embrión comienzan a crecer y desarrollarse, el organismo se considera un **feto**. Durante este tiempo las estructuras se diferencian y especializan.



Diferenciación

Durante el desarrollo, el número de células debe aumentar a través de su división para que se puedan formar los ejes del cuerpo, tejidos, órganos y estructuras. Las células individuales se especializan en su estructura y función por medio del proceso de diferenciación celular. Las células innecesarias deben ser eliminadas para ayudar a formar estructuras importantes. Esto sucede a través del proceso de apoptosis. Las manos humanas por ejemplo, comienzan como un bloque de tejido parecido a un remo. Finalmente, los dedos se "esculpen" en el bloque por apoptosis de las células que se encuentran entre los dedos en desarrollo.

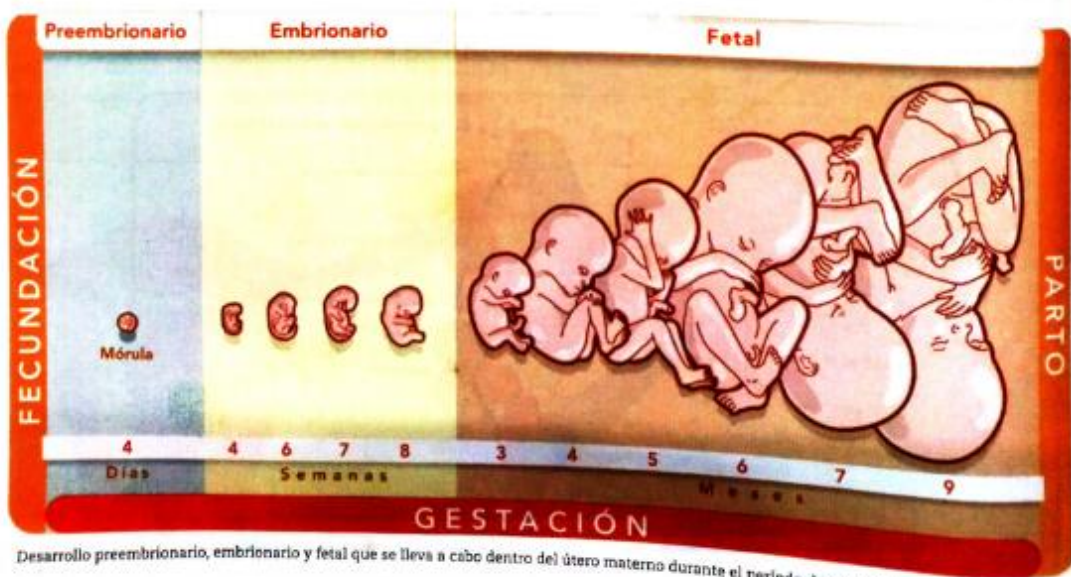
El desarrollo embrionario

Dentro del útero, el feto está rodeado por el **saco amniótico**, una bolsa llena de líquido amniótico. Este líquido le ofrece al feto un medio húmedo y protección contra golpes, además mantiene una temperatura constante y adecuada para su desarrollo. El feto está unido a la pared del útero por medio del **cordón umbilical** que sale de su vientre y llega hasta la **placenta**. La placenta se forma en la pared del útero y reúne vasos sanguíneos de la madre y del feto. A través de la placenta, los nutrientes y el oxígeno pasan de los vasos sanguíneos de la madre a los del feto, y los desechos pasan de los vasos sanguíneos del feto a los de la madre.

La placenta, por lo tanto, es el medio de comunicación entre la madre y su hijo.

Aproximadamente a los diez días de la fecundación comienza a formarse el cordón umbilical, un conducto que contiene vasos sanguíneos del feto.

El desarrollo y el crecimiento del embrión pueden dividirse en cuatro etapas. En la primera, llamada **segmentación**, el cigoto se divide por mitosis y origina muchas células iguales entre sí. En la segunda etapa, la **morfogénesis**, se producen los cambios de forma en el embrión y se originan las capas embrionarias que darán lugar a los diferentes tipos de tejidos. En la tercera etapa, la **diferenciación**, las células adoptan diferentes formas según la función que cumplirán; por ejemplo, neuronas, glóbulos rojos, hepatocitos, etc. Finalmente, una vez que se han formado todas las estructuras, es decir que han terminado la morfogénesis y la diferenciación, el organismo comienza a crecer. Una vez maduro, el feto nace a través de la vagina. Después del nacimiento se corta el cordón umbilical y lo que queda de él es el **ombligo**.



Desarrollo preembrionario, embrionario y fetal que se lleva a cabo dentro del útero materno durante el periodo de gestación.

En tiempos en que la ciencia y la tecnología avanzan a pasos agigantados y en que todo se acelera a nuestro alrededor, la gestación evoca nuestros sentimientos más profundos y provoca nuestra admiración ante el comienzo de una nueva vida. Cuando la fecundación ha finalizado, comienza una serie de reacciones metabólicas que conducen a la activación del plan ontogenético contenido en la cigota. Un ser que nace siempre representa una posibilidad concreta para ayudar a construir un mundo mejor.



El proceso de gestación es el vehículo de la reproducción humana para el logro de su perpetuación. El desarrollo armónico y equilibrado del nuevo ser que asoma a la vida se logra adecuadamente en el amor de la pareja y el establecimiento de la familia.

■ ¿Cómo se realiza el diagnóstico para los embarazos?

■ Analicen el significado de este poema.
"Y en verdad que tu vientre primerizo
ni blanco, ni moreno
calladamente se deforma en cántaro
a la presión continua del misterio."

JOSÉ PEDRONI

El embarazo

El **proceso de gestación** se lleva a cabo en el interior del cuerpo de la mujer y culmina luego de 266 a 280 días, aproximadamente, con el nacimiento de un nuevo ser.

La **implantación del embrión** en el endometrio uterino produce modificaciones morfofisiológicas, que se pueden considerar como datos de probabilidad y certeza en el diagnóstico del embarazo.

Entre los datos de **probabilidad** se pueden mencionar: el cese de la menstruación (un retraso no indica embarazo); la aparición de los tubérculos de Montgomery alrededor de los pezones; el aumento de tamaño del abdomen y de las mamas; la aparición de náuseas, cansancio y somnolencia, etcétera.

Entre los datos de **certeza**, hay que destacar los ensayos bioquímicos e inmunológicos, que, en un altísimo porcentaje de los casos, permiten realizar el **diagnóstico prenatal**.

La presencia en la sangre y en la orina de la hormona **gonadotropina coriónica** permite detectar el embarazo desde el noveno día de la fecundación, mediante tiras reactivas que cambian de color en presencia de esta hormona.

El médico puede detectar el embarazo a partir de la doceava semana de gestación al palpar el fondo del saco uterino, que aumenta de tamaño, se hace más blando y cambia de color (del rosado al violáceo).

Una vez confirmado el embarazo, es necesario efectuar análisis de laboratorio, de sangre y de orina de la madre para detectar posibles problemas metabólicos, que pueden afectar al hijo en gestación.

Etapa prenatal

La etapa prenatal se inicia con la fecundación y finaliza con la gestación.

De la cigota al embrión

Luego de fecundado, el óvulo se transforma en una célula **diploide**, llamada **huevo** o **cigota**. Ésta continúa su trayecto hacia el útero materno, al que llega para **anidarse** o **implantarse**, a partir del cuarto día. Mientras esto sucede, el huevo sufre una serie de modificaciones celulares (mitosis) hasta la formación de un pequeño **embrión**.

Primera semana de desarrollo. Un día después de ocurrida la fecundación, la cigota se divide y origina dos células, llamadas **blastómeros**. Las divisiones continúan hasta que se forman entre 12 y 16 blastómeros, agrupados en una estructura semejante a una mora, por lo que recibe el nombre de **mórula**.

La **mórula** continúa su viaje hacia el útero, lugar que la acogerá luego del sexto o séptimo día de ocurrida la fecundación.

Cuando la **mórula** ingresa al útero, experimenta modificaciones que provocan la formación de una cavidad llena de líquido, llamada **blastocelo**. En este momento, el embrión se denomina **blastocito**.

Ciertos cambios en el blastocito determinan la formación de dos macizos celulares:

- el interno, llamado **embrioblasto**, que origina las estructuras propias del embrión;
- el externo, llamado **trofoblasto**, que forma la **placenta** y los demás **anexos embrionarios**.

El embrión permanece en el útero unos dos días, tiempo en el que pierde la zona pelúcida y se implanta en la pared uterina por acción del trofoblasto.

En ocasiones, el embrión en desarrollo se implanta fuera de la cavidad uterina, lo que se conoce como **implantación ectópica**. El caso más frecuente corresponde a la anidación en las trompas de Falopio, lo que se denomina **embarazo tubario**.

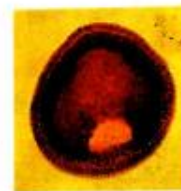
Segunda semana de desarrollo. Al octavo día, el blastocito está parcialmente incluido en el **endometrio**, la capa más interna de la pared uterina.

El trofoblasto sigue un proceso de diferenciaciones sucesivas y se inicia la circulación útero-placentaria. El embrioblasto también se diferencia y forma el **disco germinativo bilaminar**, con dos capas de células: la interna, o **endodermo**, y la externa, o **ectodermo**.

Tercera semana del desarrollo. El fenómeno más característico que se aprecia durante este período es la formación de un surco angosto en la superficie del ectodermo, llamado **línea primitiva**, que se evidencia claramente en el embrión de 15 o 16 días. En la parte anterior de esta estructura se ve un levantamiento, el **nódulo primitivo** o de **Hensen**. Se supone que células ectodérmicas migran hacia el interior del nódulo y de la línea primitiva para formar una tercera capa de células embrionarias, llamada **mesodermo**, para ubicarse entre las capas ectodérmica y endodérmica.

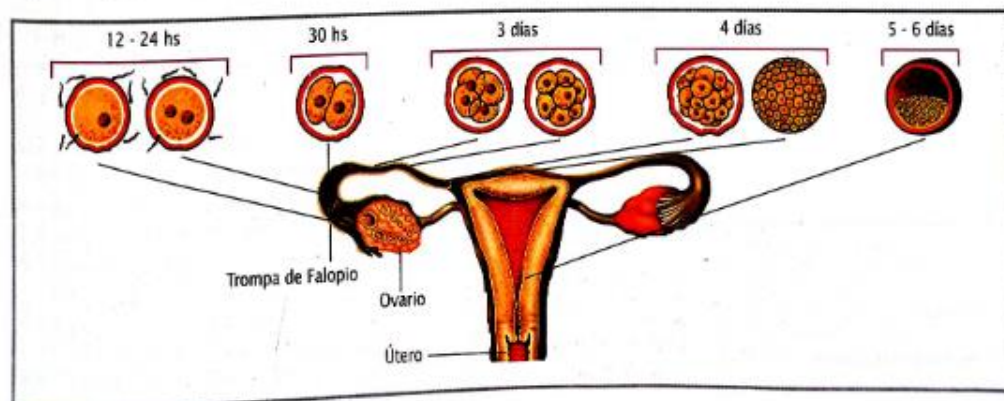


Microfotografía óptica en la que se observa el estado de mórula. Aumento: 1.000 x.



Microfotografía óptica de un blastocito. Aumento: 1.000 x.

Describan los cambios que experimenta la cigota hasta su implantación en el útero.



Recorrido de la cigota hasta su implantación en el útero.



Describan todas las estructuras que aparecen en la ilustración. ¿Que nombre recibe la que envuelve al embrión? ¿Cuáles son sus funciones específicas?



¿Por qué las mujeres embarazadas no deben exponerse a los rayos X?

Del embrión al feto: la vida intrauterina

A medida que avanza el proceso de gestación, las células se diferencian y especializan para formar determinados esbozos de los futuros órganos del nuevo ser.

Cuando el embrión se transforma, llega a estar constituido por unos 200 millones de células y a adquirir un peso que equivale a 1.000 millones de veces el del óvulo inicial.

Primer mes. El embrión es una compleja masa celular donde se aprecia la organización del **corazón** y del **hígado**; se esbozan los ojos, los riñones y el futuro sistema nervioso. Mide 1 cm de longitud y pesa alrededor de 2 o 3 g.

Segundo mes. El embrión se ha modificado sustancialmente. Se esbozan los **miembros superiores e inferiores**. El cuerpo va tomando forma, los rasgos del rostro se acentúan y el **cerebro** emite impulsos que coordinan el funcionamiento de otros órganos; el corazón late con fuerza y se organizan los sistemas orgánicos.

En esta etapa, el embrión es muy vulnerable y se lo debe proteger de las acciones de ciertos medicamentos contraindicados, así como de **noxas**, en general, y de las radiaciones, en particular, ya sean de naturaleza física o química. El embrión mide unos 3 cm de largo y pesa de 5 o 6 g. Como ya se puede apreciar, se trata de una forma vi-

viente con un enorme potencial para su desarrollo.

Tercer mes. Al ingresar al tercer mes de vida deja de llamarse **embrión** para recibir el nombre de **feto**, pues éste tiene su organismo completo y comienza una etapa de crecimiento y desarrollo. Ya están formados los **órganos genitales** y, por lo tanto, el sexo se encuentra bien definido. El rostro de aspecto humano ha armonizado y perfeccionado todas sus líneas. El feto presenta, en esta etapa, una longitud de 9 a 10 cm y pesa alrededor de 100 g.

Cuarto mes. El pequeño ser ya muestra **manifestaciones vitales**, puede levantar sus miembros inferiores, abre y cierra sus manos y puede girar la cabeza.

La madre viene percibiendo estos movimientos desde el final del tercer mes, a veces un poco antes. El cuerpo, revestido de una delgada piel, es de color rojizo debido a su rica circulación sanguínea. En esta etapa, el feto mide alrededor de 21 cm y pesa, aproximadamente, unos 250 g. Las modificaciones orgánicas no son pronunciadas, pero el desarrollo es permanente.

Quinto mes. Los movimientos del bebé son muy frecuentes; la cabeza está revestida por una ligera **pelusa**, que representa a sus primeros cabellos. Los **dientes** comienzan a tomar forma dentro de los alvéolos cerrados; el corazón late rápidamente y puede ser percibido con técnicas modernas, tanto por el médico como por sus padres. En esta etapa mide unos 27 cm y pesa unos 500 g.

Sexto mes. Los **ojos** se abren y cierran, la piel se presenta rugosa y se reviste de una secreción originada por sus **glándulas sebáceas**. Crecen pestañas, cejas y cabellos, se observa la presencia de **mamas** en ambos sexos; el **esqueleto** se osifica y aparecen las uñas. Se perciben claramente sus movimientos y la madre puede identificar, contra su abdomen, las manos, los pies e, incluso, la cabeza del bebé. En esta instancia mide unos 33 cm y alcanza 1.000 g de peso.

Mientras el sistema nervioso vegetativo muestra un alto grado de actividad, no sucede lo mismo con el sistema nervioso central y las cadenas ganglionares del sistema periférico.



Ecografía: el método más extendido

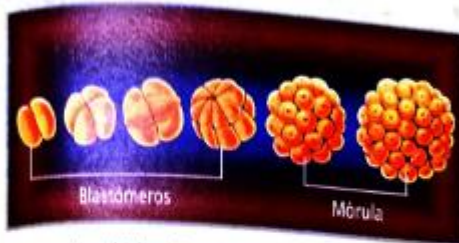
Basada en la emisión y recepción de ultrasonidos, la ecografía es un método de diagnóstico no invasivo totalmente inocuo. Permite distinguir el embrión a partir de la sexta semana por vía abdominal o en la quinta semana, si es por vía transvaginal. Esto es muy útil para determinar fehacientemente la fecha probable de parto. Además, puede diagnosticar innumerables malformaciones fetales, así como la localización placentaria, la cantidad de líquido amniótico, etcétera.

También puede detectar la posición del feto y de la placenta, la posibilidad de embarazos múltiples, etcétera.





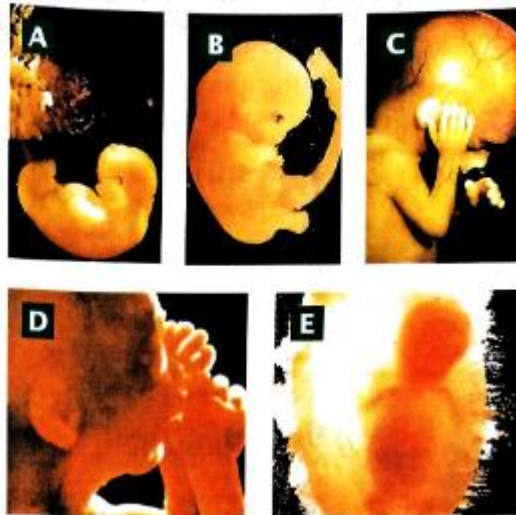
CALEIDOSCOPIO



Proceso de multiplicación celular del óvulo.



Crecimiento del feto. Las figuras representan al feto en un tamaño aproximado a la mitad del real. Durante las primeras semanas, el aumento es apenas de 30 gramos por mes, pero hacia el sexto mes, el feto aumenta unos 300 gramos mensualmente. Durante los dos últimos meses de un embarazo normal, el feto duplica su peso.



A: embrión de 7 semanas de gestación; B: embrión de 8 semanas de gestación; C: feto humano de 11 semanas de gestación; D: feto humano de 14 semanas de gestación; E: feto humano de 26 semanas de gestación.

■ Analicen las fotografías. ¿Qué cambios se producen en las distintas etapas del desarrollo fetal?



■ Observen la ecografía e indiquen en qué estadio se encuentra el embrión. Fundamenten sus respuestas.

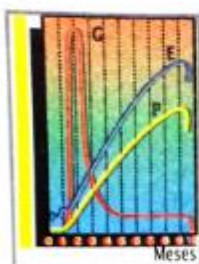


■ Si los folículos del esquema maduran al mismo tiempo y luego son fecundados. ¿Cuál sería la consecuencia? Fundamenten su respuesta.



Para realizar el diagnóstico de ciertas enfermedades sanguíneas, metabólicas, endocrinas, etc., el médico recurre a la **funiculocentesis**, una técnica que consiste en la punción del cordón umbilical, del que se extrae sangre para realizar determinados análisis.

■ ¿Qué importancia tiene la utilización de estas técnicas? ¿Creen que su aplicación encierra problemas éticos?



Luego de la fecundación se produce una serie de cambios hormonales, gracias al cuerpo lúteo que secreta estrógenos (E) y progesterona (P). Al tercer mes, la producción de ambas hormonas es asumida por la placenta, responsable, además, de la secreción de gonadotropina coriónica (G). ¿Cómo varían las distintas hormonas desde el comienzo de la gestación hasta el parto?

Séptimo mes. El bebé tiene muchas probabilidades de sobrevivir si naciera en este momento, aunque debe completar su desarrollo en el útero materno durante dos meses más. En este momento mide unos 40 cm y pesa alrededor de 1.800 g.

Octavo mes. En esta etapa, el bebé pierde las arrugas y el tono rojizo de la piel, que se torna tersa y suave. El cuerpo pierde la pelusa, llamada **lanugo**; mide unos 45 cm de longitud y pesa alrededor de 2.500 g.

Noveno mes. El pequeño ser ha completado su desarrollo y su organismo funciona normalmente, se mueve con intensidad y está listo para vivir fuera del útero materno. Mide unos 50 cm de largo y pesa alrededor de 3.500 g.

Etapa postnatal

La etapa postnatal abarca todos los procesos que ocurren desde el momento del nacimiento, incluyendo la **lactancia**.

El proceso de gestación ha llegado a su momento culminante en el noveno mes. El útero se **dilata** y, luego de un parto más o menos

laborioso, se produce el **nacimiento**.

El **parto** (palabra derivada de *partio*, que significa dividir) establece el momento de separación de madre e hijo a través del canal vaginal, que se convierte en el **canal de parto**.

El proceso de gestación, en términos de normalidad, tiene una duración aproximada de 280 días, partiendo del primer día de la última menstruación. Si el parto se produce después del sexto mes de embarazo y antes de los ocho meses y medio se denomina **parto prematuro**; si acontece al final del noveno mes se llama **de término**, y recibe el nombre de **tardío** cuando la gestación excede los 280 días.

El parto puede ser **espontáneo** (natural) o **inducido**, cuando requiere atención médica especial.

El parto se anuncia por una serie de signos:

- el descenso del útero;
- las contracciones de **Braxton-Hicks**, o contracciones uterinas que se hacen frecuentes e intensas;
- la pérdida del **tapón mucoso**;
- la rotura de la **bolsa de agua**;
- los cuatro tiempos del parto: 1) **borramiento** del cuello uterino; 2) **dilatación** del útero; 3) **expulsión** del nuevo ser; 4) **alumbramiento** placentario.

Inmediatamente después de surgir la cabeza del bebé se realiza una ligera tracción que permite la salida del resto del cuerpo. Se escucha el llanto del niño, al que se le corta el cordón umbilical, se lo higieniza cuidadosamente, se le ponen gotas **antisépticas** en ambos ojos y se le toman las impresiones **plantares**, las cuales favorecen su identificación.

Durante la dilatación del cuello uterino se producen **contracciones** de las paredes del útero, que aumentan en frecuencia y en fuerza, lo que facilita el trabajo de parto. La presión ejercida en el cuello activa la liberación de la hormona **oxitocina**, que estimula las contracciones. Una vez que aparece la cabeza del bebé, se requieren sólo de algunas contracciones más para que el niño abandone el útero.

A los pocos días del nacimiento, las **glándulas mamarias** de la madre comienzan a producir un líquido llamado **calostro**, que contiene anticuerpos y lactosa. De esta forma, el recién nacido adquiere **inmunidad** y las sustancias nutritivas necesarias.



Gemelos y mellizos

En reproducción humana, los términos mellizos y gemelos se utilizan indistintamente para referirse a los nacimientos múltiples.

Según el número de fetos, el embarazo será de mellizos, trillizos, cuatrillizos, etc., o puede también hablarse de bigéminos, trigéminos, etc. cuando se usa el término gemelo.

Sólo por razones didácticas se utiliza el término **mellizos** para referir a los embarazos dicigóticos y el de **gemelo** para los embarazos monocigóticos.

En el caso de los mellizos, dos óvulos diferentes son fecundados por dos espermatozoides distintos. Poseen **genotipos** (patrimonio hereditario) diferentes, pueden o no pertenecer al mismo sexo y su parecido no es mayor que el existente entre dos hermanos nacidos en gestaciones diferentes.

Los gemelos idénticos son el producto de la fecundación de un solo óvulo por un espermatozoide. El huevo se divide en los primeros estadios de su desarrollo y da origen a dos embriones. Estos embriones serán idénticos en todas sus características, poseen el mismo genotipo y siempre son del mismo sexo.

Los gemelos son seres humanos que poseen idéntica información genética. Se ha establecido, estadísticamente, que uno de cada 86 embarazos da origen a dos individuos. Uno de cada 7.700, a tres individuos; uno de cada 690.000, a cuatro, y uno de cada 58.000.000, a cinco.



En 1951 la señora Henrietta Lacks fue diagnosticada de un tumor en el cuello del útero. Para obtener un diagnóstico concluyente, los médicos le realizaron una biopsia y enviaron las muestras para su análisis.

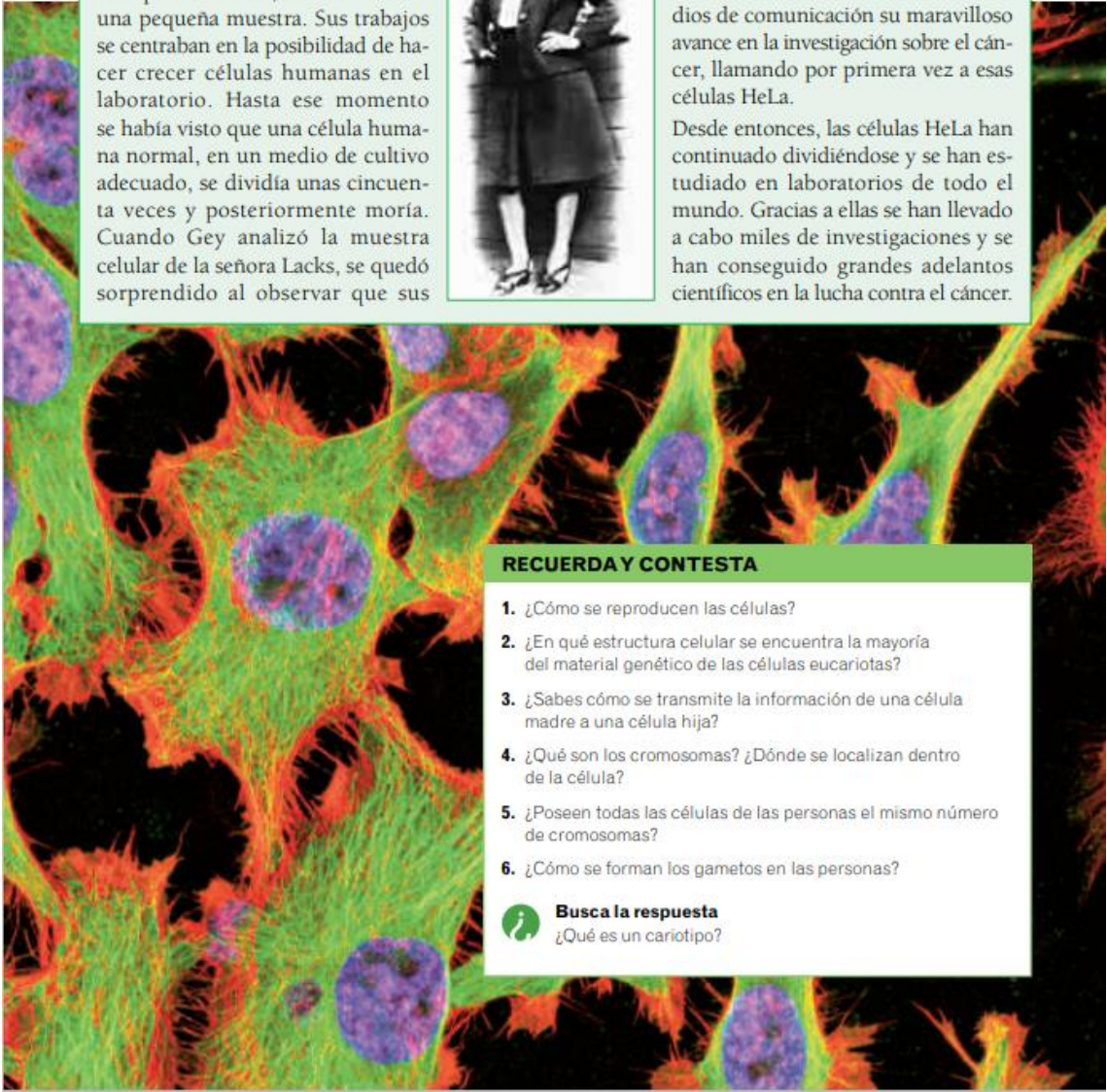
El doctor George Otto Gey, quien en ese momento intentaba hallar una cura para el cáncer, también recibió una pequeña muestra. Sus trabajos se centraban en la posibilidad de hacer crecer células humanas en el laboratorio. Hasta ese momento se había visto que una célula humana normal, en un medio de cultivo adecuado, se dividía unas cincuenta veces y posteriormente moría. Cuando Gey analizó la muestra celular de la señora Lacks, se quedó sorprendido al observar que sus

células crecían y se dividían continuamente en el interior de una probeta. Descubrió así una línea celular inmortal.



Henrietta falleció en octubre del año 1951, después de luchar todo lo posible contra la muerte. Ese mismo día el doctor Gey, sin permiso de Henrietta ni de su familia, mostró a los medios de comunicación su maravilloso avance en la investigación sobre el cáncer, llamando por primera vez a esas células HeLa.

Desde entonces, las células HeLa han continuado dividiéndose y se han estudiado en laboratorios de todo el mundo. Gracias a ellas se han llevado a cabo miles de investigaciones y se han conseguido grandes adelantos científicos en la lucha contra el cáncer.



RECUERDA Y CONTESTA

1. ¿Cómo se reproducen las células?
2. ¿En qué estructura celular se encuentra la mayoría del material genético de las células eucariotas?
3. ¿Sabes cómo se transmite la información de una célula madre a una célula hija?
4. ¿Qué son los cromosomas? ¿Dónde se localizan dentro de la célula?
5. ¿Poseen todas las células de las personas el mismo número de cromosomas?
6. ¿Cómo se forman los gametos en las personas?



Busca la respuesta

¿Qué es un cariotipo?



Los descubrimientos de Schleiden y Schwann dieron paso a una nueva disciplina dentro de la biología, la citología, que se encarga del estudio de la estructura y función de la célula.

1

El descubrimiento de la célula. La teoría celular

Las primeras observaciones de células datan del año 1665, cuando **Robert Hooke** observó con un microscopio muy simple, construido por él mismo, una fina laminilla de corcho. En ella vio unas celdillas geométricas, similares a las de un panal de abejas, a las que denominó **células**.

Desde entonces, otros científicos fueron comprobando la existencia de células en todos los tejidos y organismos que observaban. En 1674 **Anthony van Leeuwenhoek** observó y describió por primera vez células vivas y microorganismos en el agua, a los que denominó «**animálculos**».

A partir del siglo XIX, el perfeccionamiento de los microscopios y el descubrimiento de técnicas para teñir las preparaciones permitieron observar nuevas estructuras celulares.

- El botánico **Robert Brown**, en 1831, descubrió en el interior de las células vegetales un corpúsculo al que denominó **núcleo**.
- El médico **Johannes Purkinje**, en 1838, introdujo el término **protoplasma** para designar el líquido que llenaba la célula.
- El botánico **Matthias Schleiden**, en 1838, y el médico **Friedrich Schwann**, en 1839, afirmaron respectivamente que todos los vegetales y animales están formados por células.
- El médico **Rudolf Virchow**, en 1855, estableció que toda célula proviene de otra preexistente.

La teoría celular

Con los postulados de Schleiden y Schwann se inició el desarrollo de la teoría celular, aplicable a todos los seres vivos, y que junto a los conocimientos actuales puede resumirse en los siguientes puntos:

- La célula es la **unidad estructural** de los seres vivos. Todos los seres vivos estamos constituidos por una o más células.
- La célula es la **unidad funcional** de los seres vivos. La célula realiza todos los procesos metabólicos que le permiten vivir.
- **Toda célula procede de otra ya existente.** Todas las células provienen de la división de otras.
- La célula es la **unidad genética** de todos los seres vivos. La célula contiene el material hereditario, a través del cual las características de una célula madre pasan a las células hijas.

ACTIVIDADES

1. ¿Qué tienen en común todos los seres vivos?
2. ¿Qué avances técnicos contribuyeron al establecimiento de la teoría celular?
3. ¿Qué quiere decir que la célula es la unidad genética de los seres vivos?

EN PROFUNDIDAD

Un importante descubrimiento

En un principio la teoría celular fue aceptada para todos los tipos celulares excepto para el tejido nervioso, ya que se pensaba que este tejido estaba formado por una red de células unidas entre sí.

En 1899 **Santiago Ramón y Cajal** hizo posible la generalización de la teoría celular a todas las células, al demostrar la individualidad de las neuronas.

¿Qué aportaciones hizo Ramón y Cajal a la teoría celular?



Formas y funciones de la célula

Situemos el tema



La estructura de la vida

Todos los seres vivos realizan distintas actividades a diario para poder alimentarse, crecer, desarrollarse y reproducirse.

De igual modo, los seres humanos también llevamos a cabo un sinnúmero de funciones, para satisfacer el mismo tipo de necesidades, y así, continuar la vida en nuestro planeta.

Podríamos preguntarnos: ¿Qué tenemos los seres humanos en común con un árbol, una larva de mariposa y un caballo?, ¡las células!

Desde una larva hasta un ser humano, los seres vivientes estamos formados por la misma estructura: las células. Algunas formas de vida muy sencillas se componen de una sola célula, como es el caso de las bacterias, algunas de las cuales, pueden poner en peligro nuestra salud; un gusano pequeño, en cambio, tiene alrededor de mil células, y un ser humano adulto, millones de ellas.

Las células son unidades que pueden alimentarse, crecer, y reproducirse, cualidades que les permiten agruparse formando distintos tipos de tejidos y estructuras organizadas, como la piel y los huesos.

De igual modo, también forman órganos diversos e importantes, como el corazón o el cerebro. Así, los órganos presentes en nuestro organismo, realizan distintas funciones en conjunto, permitiendo nuestra supervivencia. De la misma manera, en cada actividad que realizamos, millones de células entran en acción.

No somos los únicos que trabajamos para vivir, también, eso le sucede a nuestras células.

Adaptado de www.noticiasdeciencia.com

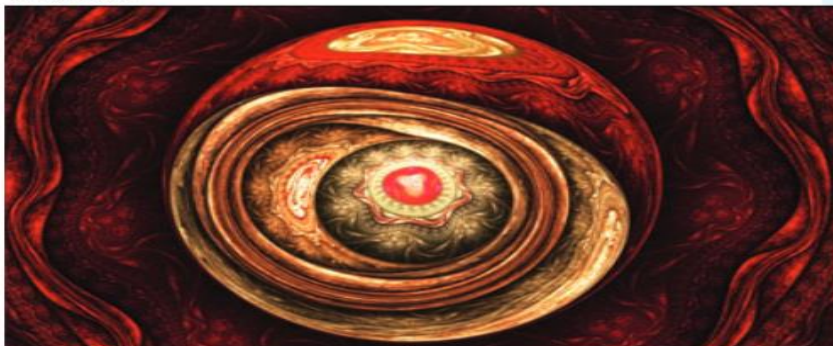
9



■ Mariposa, foto Chris Westley, Reino Unido, 2009.

¿Qué es la célula?

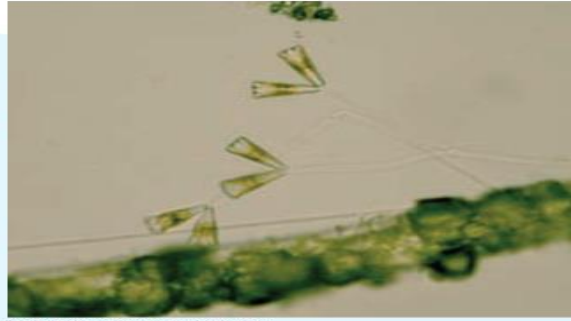
Comenzaremos por definir a la célula como la unidad más pequeña de la materia viva, que tiene la capacidad de realizar todas las funciones de los seres vivos. Podemos imaginarla como la primera piedra de una casa; como la unidad básica del organismo, capaz de realizar todas las funciones necesarias para el diario vivir: crecer, reproducirse, respirar, nutrirse, responder a estímulos y diferenciarse unas de otras.



■ La célula que explota, arte digital por Xerch Ibarra Lepage, México, 2008.

La célula tiene la capacidad de trabajar en forma independiente y es la base de los seres vivos, de ahí proviene su gran importancia. La mayoría de las células son microscópicas, pero algunas, como la yema del huevo de gallina, miden casi 4 cm de diámetro; algunas células nerviosas de la jirafa, pueden medir hasta 4 m de largo.

Todos los organismos vivos poseen células, aun cuando sea sólo una. Algunos organismos microscópicos, como las bacterias y protozoos, se constituyen de una célula y, por esto, se llaman unicelulares. Ellos son capaces de alimentarse, crecer y reproducirse, funciones que les han permitido mantenerse como seres vivos durante millones de años.



■ diatomeazoo, organismos unicelulares.



■ Hongo, ser pluricelular.

Otros seres vivos, como los animales, aves, peces o plantas, están formados por muchos millones de células, y se denominan pluricelulares. Los diferentes tipos de células que constituyen a los organismos pluricelulares, se agrupan para formar tejidos, órganos y sistemas. Por ejemplo, en las plantas hay ciertas células que se organizan para formar tejidos que transportan el agua desde la raíces hasta las hojas. Otras células, en cambio, cumplen funciones distintas, como sucede con las de la función reproductora.



■ Bacterias, organismos unicelulares.
<http://media.photobucket.com/image/organismos/20unicelulares/20bacteria202.jpg>

En el caso de los animales o el ser humano, las células se reúnen y se organizan para formar sistemas más complejos, en los que órganos como el cerebro, el corazón o el hígado, funcionan como parte de un conjunto, posibilitando el desarrollo y la supervivencia del organismo vivo.

La biología celular es la disciplina que estudia la estructura y el funcionamiento de las células. Ello ha sido posible gracias al desarrollo de instrumentos como el microscopio electrónico, capaz de aumentar 150 mil veces el tamaño de una célula.

Clasificación de las células

Las células pueden dividirse en dos grandes grupos: **procariotas** y **eucariotas**. Esta división se debe a diferencias fundamentales en cuanto a su tamaño y organización interna.

► Células procariotas

También llamadas procarióticas o procariontes, son las que comprenden a las bacterias y cianobacterias (antes llamadas algas verde azuladas). Se caracterizan por ser células pequeñas y de estructura sencilla; el material genético está concentrado en una región de la célula, conocida como nucleóide, pero no hay ninguna membrana que separe esa zona del resto de la célula. Algunas poseen una especie de cola o flagelo, o pequeños cilios o pili, los cuales les permiten desplazarse.



■ Célula procariota, bacteria *img1*.
<http://i115.photobucket.com/albums/n253/InfernaSeraph92/bacteriasimg1.jpg>

► Células eucariotas

También llamadas eucarióticas o eucariontes, son las que conforman a todos los otros organismos vivos. Es el caso de los protozoos, plantas, hongos y animales. Estas son células de mayor tamaño, y tienen el material genético envuelto por una membrana que forma el núcleo. De hecho, el término eucariota deriva del griego «núcleo verdadero», mientras que el término procariota se interpreta como «núcleo primitivo».

Célula eucariótica-animal



■ Célula eucariota.

La división celular en las células procariotas

En las células procariotas, la mayor parte del material genético se encuentra en una sola molécula circular de ADN. Como ocurre en todos los tipos celulares, antes de la división celular, el material hereditario se duplica y se une a un punto del interior de la membrana celular.

Cuando la célula crece y se alarga, los cromosomas quedan separados. Luego la membrana celular se invagina, formándose a continuación la nueva pared celular. Como resultado de este proceso, se han formado dos células procariotas hija a partir de una célula madre con igual información genética.

La división celular en las células eucariotas

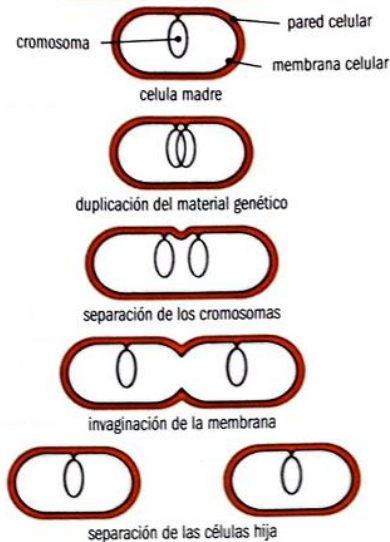
En las células eucariotas de animales, plantas, hongos y protistas, la distribución del material genético entre las dos células hija es mucho más compleja que en las células procariotas.

En este proceso denominado **mitosis**, las células hija reciben una copia de cada uno de los cromosomas de la célula madre, que previamente se había duplicado durante la interfase. En la mitosis, se pueden distinguir distintas etapas: en la anafase, las dos **cromátidas** que forman los **cromosomas** maternos duplicados se separan y pasan a formar los cromosomas de las células hija.

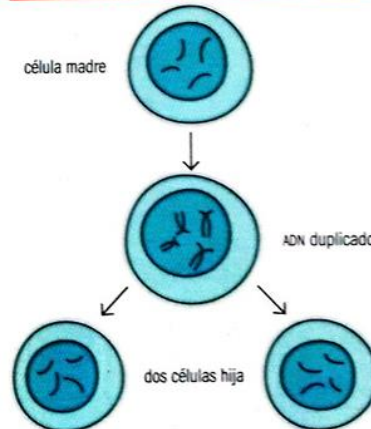
Luego de la mitosis, las dos nuevas células se separan, mediante la **citocinesis** o división del citoplasma, y el citoplasma de la célula madre y sus organelas quedan distribuidos en forma equitativa. Todas las células del cuerpo de un organismo, llamadas **células somáticas**, se dividen por mitosis.

En síntesis, como resultado del proceso de mitosis, se forman dos células hija con el mismo número de cromosomas y con igual información genética. En las sucesivas divisiones celulares, el número de cromosomas se mantiene constante. Por lo tanto, todas las células de un organismo tienen el mismo número de cromosomas y portan la misma información. La única excepción a esta "regla" está representada por la formación de las células sexuales.

División celular en células procariotas



División celular en células eucariotas



ActivA dos EN LA RED

Para saber más sobre la mitosis ingresen a: <http://goo.gl/A4pAzb>*

*Este link pertenece a la página: <http://www.educ.ar/sitios/educar/recursos/ver?id=40659&referente=docentes>

ActivA dos

1. ¿Cuál es la importancia de la división celular en los organismos unicelulares? ¿Y en los pluricelulares?
2. ¿Qué acontecimiento fundamental ocurre durante la interfase de la división celular? ¿Cuál es la importancia de este proceso?
3. Si un organismo tiene en sus células somáticas 42 cromosomas, ¿cuántos cromosomas tendrán sus células de la piel? ¿Y la de los músculos? Justifiquen su respuesta.

GLOSARIO

cromátida. Una de las dos partes que constituyen un cromosoma luego de la duplicación.

cromosoma. Filamento condensado de ADN, visible en el núcleo de las células durante la mitosis.

Estructuras y órganos de las células

Para que nuestro cuerpo realice todas las funciones necesarias para vivir, necesitamos del trabajo sistemático y coordinado de las distintas estructuras y órganos que componen nuestro organismo. Así, nuestros pulmones recolectan el oxígeno para respirar; nuestro aparato digestivo procesa los alimentos que ingerimos para nutrirnos; nuestro corazón se encarga de bombear sangre para distribuir el oxígeno y los nutrientes a todo el cuerpo; nuestro cerebro dirige la mayor parte de las funciones, en perfecta coordinación con nuestro organismo.

Algo muy similar ocurre también con la célula. Ella posee una serie de estructuras y pequeños organelos (algo así como órganos en miniatura), con los que puede realizar todas sus funciones vitales esenciales. Para poder estudiar a la célula y comprender sus funciones y procesos, distinguiremos tres partes fundamentales: la membrana y pared celular, el citoplasma y el núcleo. En la siguiente ilustración, se presenta la célula animal y vegetal, con las estructuras indicadas que describiremos:



8

Tejidos Órganos y Sistemas de Órganos

- Los seres humanos —y otros organismos multicelulares complejos— tienen sistemas de órganos que trabajan en conjunto para realizar los procesos que nos mantienen vivos.
- El cuerpo tiene niveles de organización que se construyen unos sobre otros. Las células constituyen **tejidos**, los tejidos constituyen **órganos** y los órganos constituyen **sistemas de órganos**.
- La función de un sistema de órganos depende de la actividad integrada de sus órganos. Por ejemplo, los órganos del sistema digestivo cooperan para procesar alimentos.
- La supervivencia del organismo depende de la actividad integrada de todos los sistemas de órganos, con frecuencia coordinada por los sistemas endocrino y nervioso.

Introducción

Si fueras un organismo unicelular y vivieras en un lugar rico en nutrientes, mantenerse con vida sería bastante sencillo. Por ejemplo, si fueras una ameba que vive en un estanque, podrías absorber nutrientes directamente de tu entorno. El oxígeno que necesitarías para tu metabolismo se podría difundir a través de tu membrana celular y el dióxido de carbono y otros desechos podrían difundirse hacia el exterior. Cuando llegara el momento de reproducirse, ¡simplemente podrías dividirte a ti mismo en dos!

Sin embargo, lo más probable es que *no* seas una ameba —dado que usas Khan Academy en este momento— y las cosas no son tan simples para los grandes organismos multicelulares como los seres humanos. Tu complejo cuerpo tiene más de 30 billones de células y la mayoría de estas células no están en contacto directo con el ambiente externo.

Una célula en las profundidades de tu cuerpo —en uno de tus huesos, por ejemplo, o en tu hígado— no puede obtener los nutrientes y el oxígeno que necesita directamente del ambiente.

¿Cómo es entonces que el cuerpo alimenta a sus células y se mantiene a sí mismo en funcionamiento? Veamos más de cerca cómo la organización de tu increíble cuerpo hace esto posible.

Los organismos multicelulares necesitan sistemas especializados

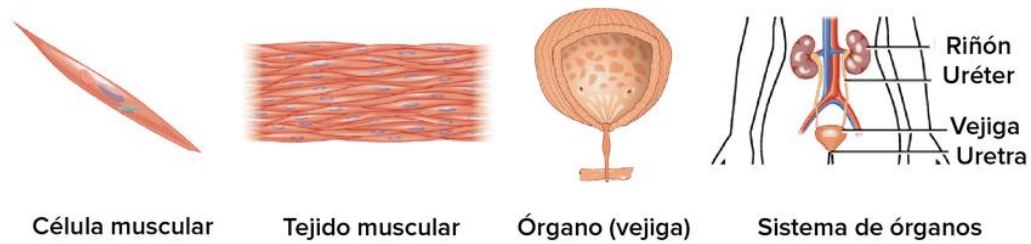
La mayoría de las células de los grandes organismos multicelulares no intercambian sustancias directamente con el ambiente *externo*, por el contrario, están rodeadas por un ambiente *interno* de **líquido extracelular**—literalmente, líquido fuera de las células. Las células obtienen oxígeno y nutrientes del líquido extracelular y liberan productos de desecho en él. Los seres humanos y otros organismos complejos tienen sistemas especializados que cuidan el ambiente interno, y lo mantienen constante y capaz de satisfacer las necesidades de las células.

Diferentes sistemas del cuerpo realizan funciones distintas. Por ejemplo, tu sistema digestivo es responsable de tomar y procesar los alimentos, mientras que tu sistema respiratorio —que trabaja con el sistema circulatorio— es responsable de tomar oxígeno y eliminar dióxido de carbono. Los sistemas musculares y esqueléticos son cruciales para el movimiento, el sistema reproductor se encarga de la reproducción y el sistema excretor elimina desechos metabólicos. Debido a su especialización, los diferentes sistemas dependen unos de otros. Cada una de las células que componen los sistemas digestivo, muscular, esquelético, reproductivo y excretor necesitan oxígeno del sistema respiratorio para funcionar y las células del sistema respiratorio —como todos los otros sistemas— necesitan nutrientes y deben deshacerse de desechos metabólicos. Todos los sistemas del cuerpo trabajan juntos para mantener al organismo funcionando.

Resumen de la organización del cuerpo

Todos los organismos vivos se componen de una o más células. Los **organismos unicelulares**, como las amebas, se componen solo de una célula. Los **organismos multicelulares** como las personas, están conformados de muchas células. Las células se consideran la unidad fundamental de la vida.

Las células en organismos multicelulares complejos como las personas se organizan en **tejidos**, grupos de células similares que trabajan juntas en una tarea específica. Los **órganos** son estructuras compuestas de dos o más tejidos que se organizan para desempeñar una función particular; grupos de órganos con funciones relacionadas conforman los diferentes **sistemas de órganos**.

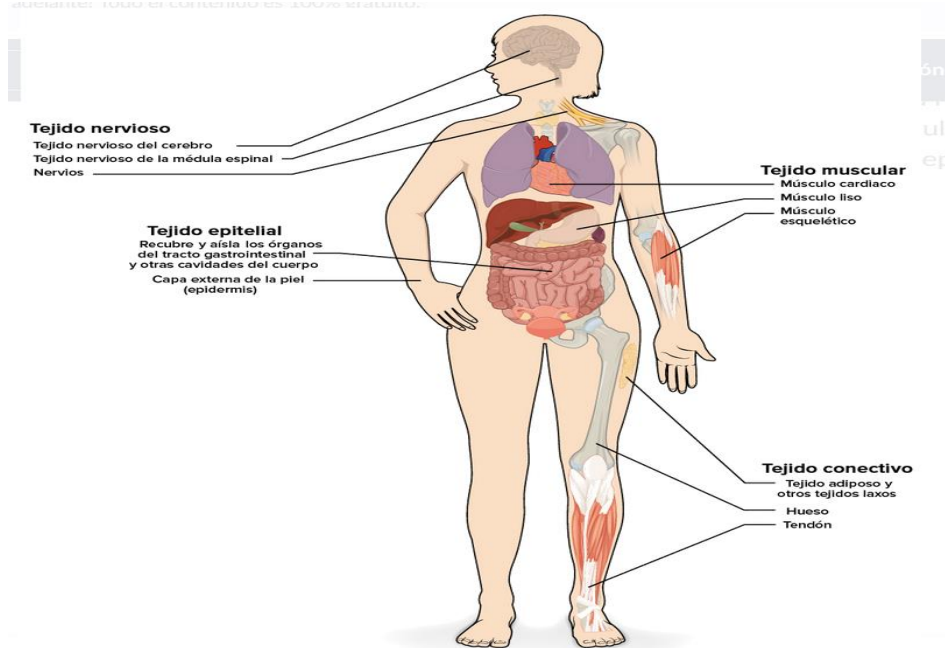


Crédito de la imagen: versión modificada de [Niveles de organización estructural del cuerpo humano](#) por OpenStax College, Anatomy & Physiology, [CC BY 4.0](#)

En cada nivel de organización —células, tejidos, órganos y sistemas de órganos—, la estructura está estrechamente relacionada con la función. Por ejemplo, las células del intestino delgado que absorben nutrientes se ven muy diferentes a las células musculares necesarias para el movimiento del cuerpo. La estructura del corazón refleja su función de bombear sangre hacia todo el cuerpo, mientras que la estructura de los pulmones maximiza la eficiencia con la que pueden tomar oxígeno y liberar dióxido de carbono.

Tipos de tejidos

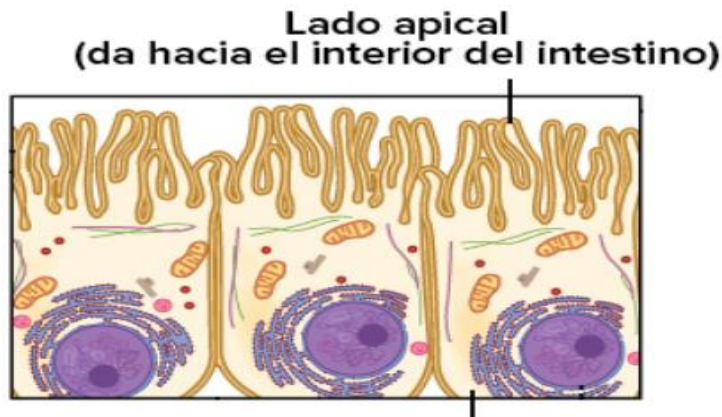
Como vimos anteriormente, cada órgano se compone de dos o más tejidos, grupos de células similares que trabajan juntos para realizar una tarea específica. Los seres humanos —y otros animales multicelulares grandes— se componen de cuatro tipos de tejido básicos: tejido epitelial, tejido conectivo, tejido muscular y tejido nervioso.



Tejido epitelial

El **tejido epitelial** se compone de láminas apretadas de células que recubren las superficies, incluyendo el exterior del cuerpo, y recubren las cavidades del cuerpo. Por ejemplo, la capa externa de la piel es un tejido epitelial, al igual que el revestimiento del intestino delgado. Las células epiteliales están polarizadas, lo que significa que tienen un lado superior y uno inferior. El lado **apical**, superior, de una célula epitelial da hacia el interior de una cavidad o el exterior de una estructura y generalmente está expuesta a líquido o aire. El lado **basal**,

inferior, da hacia las células subyacentes. Por ejemplo, el lado apical de las células intestinales tienen estructuras en forma de dedos que aumentan la superficie con la que absorben nutrientes.

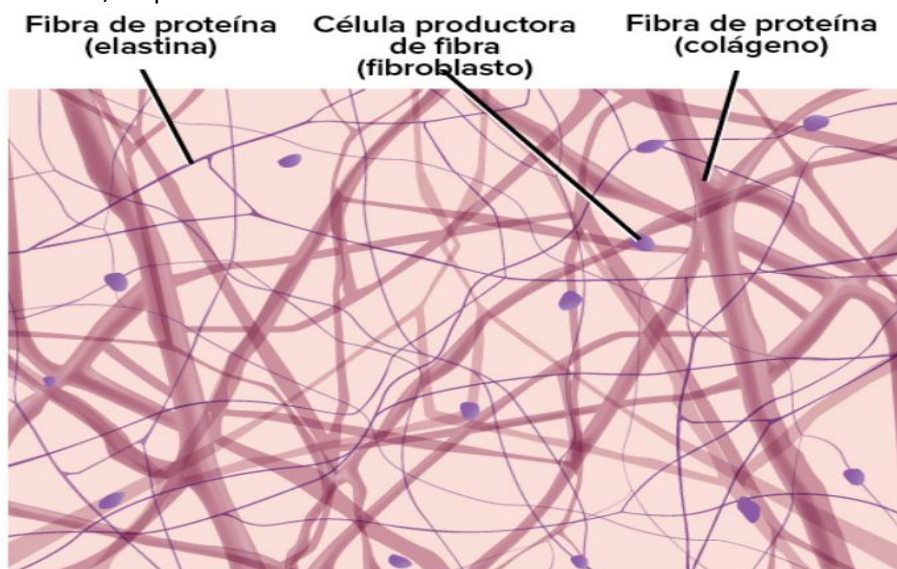


Las células epiteliales están muy pegadas y esto les permite actuar como barrera ante el movimiento de líquidos y de microbios potencialmente dañinos. Las células suelen unirse por [uniones celulares](#) que las mantienen en estrecha cercanía para reducir fugas.

Tejido conectivo

El **tejido conectivo** consiste de células suspendidas en una matriz extracelular. En la mayoría de los casos, la matriz se compone de fibras de proteína como el colágeno y la fibrina en una sustancia base sólida, líquida o gelatinosa. El tejido conectivo soporta y, como su nombre indica, conecta otros tejidos.

El tejido conectivo laxo, que se muestra más adelante, es el tipo más común de tejido conectivo. Se encuentra por todo tu cuerpo y soporta órganos y vasos sanguíneos, además de unir los tejidos epiteliales de los músculos subyacentes. El tejido conectivo denso o fibroso, se encuentra en tendones y ligamentos, los cuales conectan músculos con huesos y huesos con otros huesos, respectivamente.

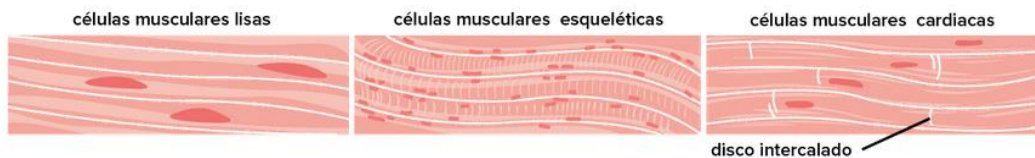


Algunas formas especializadas de tejido conectivo incluyen el tejido adiposo —grasa corporal—, hueso, cartílago y [sangre](#), que tiene una matriz extracelular líquida llamada plasma.

Tejido muscular

El **tejido muscular** es esencial para mantener el cuerpo erguido y en movimiento, e incluso para bombear sangre y mover los alimentos por el tracto digestivo.

Las células musculares, con frecuencia llamadas fibras musculares, contienen las proteínas actina y miosina, que les permiten contraerse. Hay tres tipos principales de músculo: músculo esquelético, músculo cardíaco y músculo liso.



El **músculo esquelético**, también llamado músculo estriado (rayado), es a lo que nos referimos como músculo en la vida cotidiana. El músculo esquelético se une a los huesos por tendones y te permite controlar conscientemente tus movimientos. Por ejemplo, los cuádriceps de tus piernas o los bíceps de tus brazos son músculo esquelético.

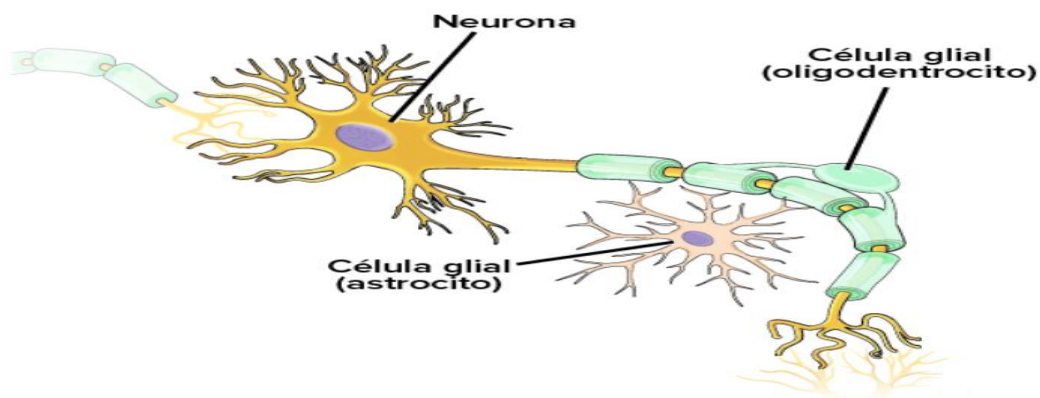
El **músculo cardíaco** solo se encuentra en las paredes del corazón. Al igual que el músculo esquelético, el músculo cardíaco es estriado, o rayado. Pero no está bajo control voluntario, así que —¡por suerte!— no necesitas pensar en hacer que tu corazón siga latiendo. Las fibras individuales están conectadas por estructuras llamadas discos intercalados, que les permiten contraerse en sincronía.

El **músculo liso** se encuentra en las paredes de los vasos sanguíneos, así como en las paredes del tracto digestivo, el útero, la vejiga urinaria y otras estructuras internas. El músculo liso no es rayado o estriado, y es involuntario, no está bajo control consciente. ¡Eso significa que no tienes que pensar en mover los alimentos por el tracto digestivo!

Tejido nervioso

El **tejido nervioso** participa en la detección de estímulos —señales externas o internas— y el procesamiento y transmisión de información. Este tejido consiste principalmente en dos tipos de células: las neuronas, o células nerviosas, y la glia.

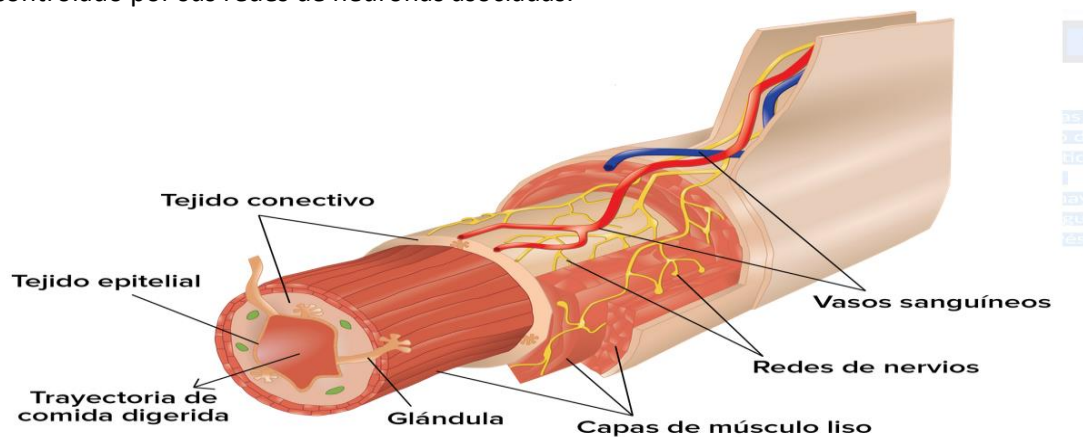
Las **neuronas** son la unidad funcional básica del sistema nervioso. Generan señales eléctricas llamadas impulsos nerviosos o potenciales de acción que les permite a las neuronas transmitir información muy rápidamente a largas distancias. La función principal de la **glia** es apoyar la función neuronal.



Órganos

Los **órganos**, como el corazón, los pulmones, el estómago, los riñones, la piel y el hígado, se componen de dos o más tipos de tejidos que se organizan para desempeñar una función particular. Por ejemplo, el corazón bombea la sangre, los pulmones captan oxígeno y eliminan dióxido de carbono, y la piel proporciona una barrera que protege las estructuras internas del ambiente externo.

La mayoría de los órganos contiene todos los cuatro tipos de tejido. Las paredes en capas del intestino delgado proporcionan un buen ejemplo de cómo los tejidos forman un órgano. El interior del intestino está revestido por células epiteliales, algunas de las cuales secretan hormonas o enzimas digestivas y otras absorben nutrientes. Alrededor de la capa epitelial hay capas de tejido conectivo y músculo liso, infiltradas por glándulas, vasos sanguíneos y neuronas. El músculo liso se contrae para mover los alimentos a través del intestino, controlado por sus redes de neuronas asociadas.

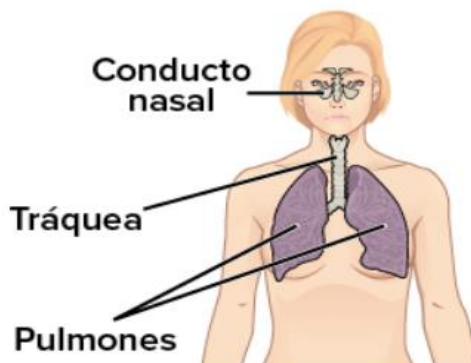


Sistemas de órganos

Los órganos se agrupan en **sistemas de órganos**, en los que trabajan juntos para desempeñar una función en particular para el organismo.

Por ejemplo, el corazón y los vasos sanguíneos constituyen el sistema cardiovascular. Estos órganos trabajan en conjunto para hacer circular la sangre, transportando oxígeno y nutrientes a las células de todo el cuerpo y retirando dióxido de carbono y desechos metabólicos. Otro ejemplo es el sistema respiratorio, que lleva oxígeno al cuerpo y elimina el dióxido de carbono. Este incluye la nariz, la boca, la faringe, la laringe, la tráquea y los pulmones.

Sistema Respiratorio



Sistema Cardiovascular



Los órganos de un sistema trabajan juntos.

Al igual que los trabajadores de una cadena de producción, los órganos de un sistema de órganos deben trabajar juntos para que el sistema funcione como un todo. Por ejemplo, la función del sistema digestivo —tomar alimentos, descomponerlos en moléculas suficientemente pequeñas para ser absorbidas, absorberlas y eliminar los residuos no digeridos— depende de que cada órgano sucesivo haga su trabajo individual.

La digestión es la degradación de alimentos tal que sus nutrientes puedan ser absorbidos. Esto incluye digestión mecánica y digestión química. En la digestión mecánica, trozos de alimentos se dividen en pedazos más pequeños. En la digestión química, las moléculas grandes, como las proteínas y los almidones, se dividen en unidades más simples que pueden ser absorbidas fácilmente.

En la boca y el estómago ocurre digestión mecánica y un poco de digestión química inicial. Masticar el alimento lo rompe en pedazos más pequeños y el estómago bate los alimentos en una mezcla fluida. El estómago también actúa como un tanque de almacenamiento que libera alimentos parcialmente digeridos en el intestino delgado a una velocidad que el intestino pueda manejar.

El intestino delgado es el principal sitio de digestión química, realizada por enzimas que liberan el páncreas y el hígado. El intestino delgado también es el principal sitio de absorción de nutrientes, donde las células incorporan moléculas como azúcares y aminoácidos, y transportan por el torrente sanguíneo para usarlas.

La boca, el estómago, el intestino y otros órganos del sistema digestivo trabajan juntos para hacer que la digestión de alimentos y la absorción de nutrientes sean eficiente. ¡La digestión no funcionaría tan bien si tu estómago dejara de batir o si alguna de tus glándulas productoras de enzimas —como el páncreas— decidiera tomarse el día libre!

Los sistemas de órganos también trabajan juntos.

Así como los órganos de un sistema de órganos trabajan juntos para cumplir su tarea, también los diferentes sistemas de órganos cooperan para mantener el cuerpo en funcionamiento. Por ejemplo, el sistema respiratorio y circulatorio colaboran estrechamente para suministrar el oxígeno a las células y eliminar el dióxido de carbono que estas producen. El sistema circulatorio recoge oxígeno en los pulmones y lo deja en los tejidos, luego realiza el servicio inverso para el dióxido de carbono. Los pulmones expulsan el dióxido de carbono y traen aire nuevo que contiene oxígeno. Solo cuando ambos sistemas trabajan juntos se puede intercambiar oxígeno y dióxido de carbono con éxito entre las células y el ambiente. Hay muchos otros ejemplos de esta cooperación en tu cuerpo. Por ejemplo, la sangre de tu sistema circulatorio tiene que recibir nutrientes de tu sistema digestivo y someterse a filtración en tus riñones o no sería capaz de mantener las células de tu cuerpo y eliminar los desechos que producen.

Control y coordinación

El sistema nervioso y el sistema endocrino controlan muchas funciones del cuerpo. Estos dos sistemas regulatorios utilizan mensajeros químicos que modifican la función de los otros sistemas de órganos y coordinan la actividad en diversos lugares del cuerpo.
¿Cuál es la diferencia entre los sistemas endocrino y nervioso?

- En el sistema endocrino, los mensajeros químicos son hormonas que se liberan a la sangre.
- En el sistema nervioso, los mensajeros químicos son neurotransmisores que se envían directamente de una célula a otra a través de un pequeño intersticio.

Puesto que las hormonas tienen que viajar por el torrente sanguíneo hacia sus objetivos, el sistema endocrino generalmente coordina procesos en una escala de tiempo más lenta que el sistema nervioso, donde los mensajes se entregan directamente a la célula blanco. En algunos casos, como la respuesta de lucha o huida ante una amenaza aguda, los sistemas nervioso y endocrino trabajan juntos para producir una respuesta.

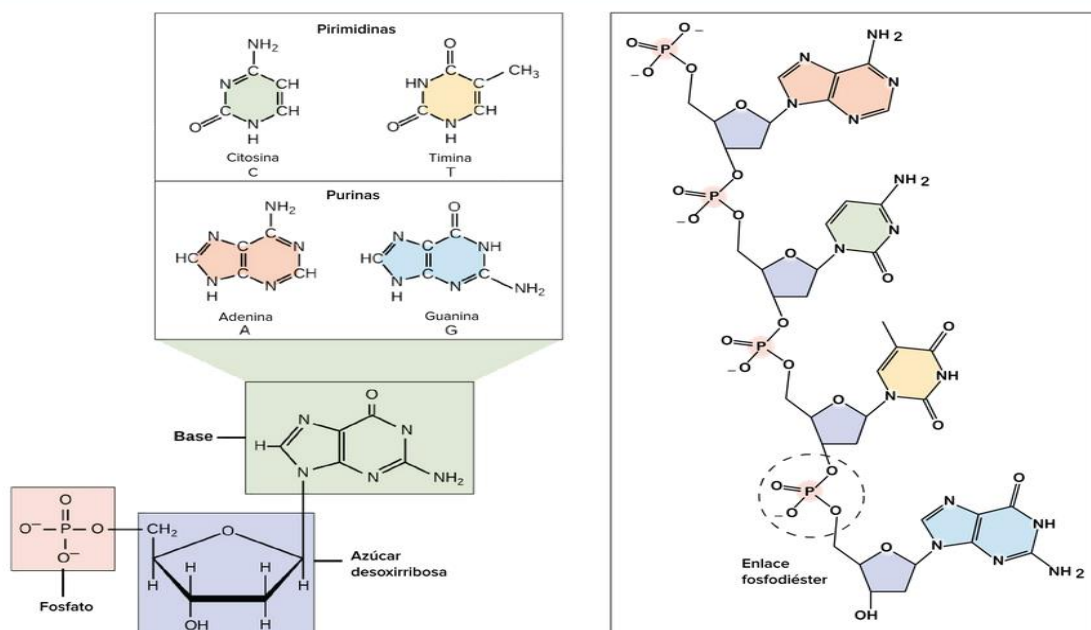
Descubrimiento de la Molécula de ADN

Hoy en día, la doble hélice del ADN es probablemente la más emblemática de todas las moléculas biológicas. Ha inspirado escaleras, decoraciones, puentes peatonales (como el de Singapur que se muestra a continuación) y más.

Tengo que estar de acuerdo con arquitectos y diseñadores: la doble hélice es una estructura hermosa, una cuya forma se acopla con su función de manera extraordinaria. Pero la doble hélice no siempre fue parte de nuestro léxico cultural. De hecho, hasta la década de 1950, la estructura del ADN seguía siendo un misterio.

Los componentes del ADN

Del trabajo del bioquímico Phoebus Levene y otros, los científicos del tiempo de Watson y Crick sabían que el ADN se componía de subunidades llamadas **nucleótidos**. Un nucleótido está formado por un azúcar (desoxirribosa), un grupo fosfato y una de cuatro bases nitrogenadas: adenina (A), timina (T), guanina (G) o citosina (C). Las bases C y T, que solo tienen un anillo, se llaman **pirimidinas**, mientras que las bases A y G, que tienen dos anillos, se llaman **purinas**.



Los nucleótidos del ADN forman cadenas unidas por enlaces covalentes, los cuales se forman entre el azúcar desoxirribosa de un nucleótido y el grupo fosfato del siguiente. Este arreglo resulta en una cadena alternante de grupos desoxirribosa y fosfato en el polímero de ADN, estructura conocida como **esqueleto azúcar fosfato**

Las reglas de Chargaff

Otra pieza clave de información relacionada con la estructura del ADN la proporcionó el bioquímico austriaco Erwin Chargaff. Chargaff analizó el ADN de diferentes especies y determinó su composición de bases A, T, C y G. Este científico hizo varias observaciones claves:

- A, T, C y G no se encontraban en cantidades iguales (como algunos modelos de la época hubieran predicho)
- La cantidad de bases variaba entre especies, pero no entre individuos de la misma especie
- La cantidad de A siempre era igual a la cantidad de T y la cantidad de C siempre era igual a la cantidad de G ($A = T$ y $G = C$)

Estos descubrimientos, llamados **reglas de Chargaff**, resultaron cruciales para el modelo de Watson y Crick de la doble hélice del ADN.

Watson, Crick y Rosalind Franklin

A principios de la década de 1950, el biólogo estadounidense James Watson y el físico británico Francis Crick propusieron su famoso modelo de la doble hélice del ADN. Fueron los primeros en cruzar la línea de meta en esta "carrera" científica, en la que otros como Linus Pauling (quien descubrió la estructura secundaria de las proteínas) también trataban de encontrar el modelo correcto.

En lugar de realizar nuevos experimentos en el laboratorio, Watson y Crick principalmente recolectaron y analizaron fragmentos de información existente y los juntaron de formas novedosas y reveladoras

. Algunas de sus pistas más importantes sobre la estructura del ADN fueron producto del trabajo de Rosalind Franklin, una química que trabaja en el laboratorio del físico Maurice Wilkins.

Franklin era experta en una poderosa técnica para la determinación de la estructura de moléculas, conocida como **cristalografía de rayos X**. Cuando la forma cristalizada de una molécula, como el ADN, se expone a rayos X, los átomos en el cristal desvían algunos de los rayos y forman un **patrón de difracción** que da pistas sobre la estructura de la molécula. La cristalografía de Franklin dio a Watson y Crick importantes pistas sobre la estructura del ADN. Algunas de estas provenían de la famosa "imagen 51," una imagen de difracción de rayos X del ADN sorprendente y extraordinariamente clara que produjeron Franklin y su estudiante de posgrado. (Arriba se muestra un ejemplo moderno del patrón de difracción que produce el ADN). El patrón de difracción en forma de X de la imagen de Franklin inmediatamente le sugirió a Watson una estructura helicoidal de dos cadenas para el ADN.



Imagen modificada de "[La estructura y secuencia del ADN:](#)

Watson y Crick obtuvieron información adicional de un informe inédito de Franklin que discute las dimensiones de la hélice y la orientación de las dos cadenas, información que resultó crucial para su modelo. El informe de Franklin también incluyó su conclusión que las bases nitrogenadas se ocultaban en el interior de la molécula de ADN

• A Watson y Crick les mostraron la imagen de difracción de rayos X y el informe inédito de Franklin sin permiso ni conocimiento de Franklin. Curiosamente, Franklin había compartido la mayor parte de los datos contenidos en el informe en una presentación pública anterior, a la que Watson asistió. Sin embargo, dado que no estaba muy familiarizado con la química y no tomó notas, Watson no recordaba correctamente los datos

• Watson y Crick no robaron los datos de Franklin *per se*, en el sentido de que ni la imagen de difracción ni el informe eran confidenciales

• Sin embargo, obtuvieron y usaron sus resultados en maneras que mostraron una falta de transparencia, profesionalismo y respeto. Watson y Crick no le pidieron permiso a Franklin para interpretar y utilizar sus datos ni reconocieron la magnitud de sus contribuciones al modelo (ni cuando publicaron su trabajo ni nueve años después, cuando recibieron el Premio Nobel) . De hecho, es probable que Franklin nunca haya sabido a qué grado Watson y Crick se basaron en sus resultados para la construcción de su modelo

• Para aprender más sobre la controversia en torno a la relación profesional de Watson y Crick con Franklin, por favor consulta las fuentes citadas en esta sección del artículo (la sección de referencias al final del artículo contiene enlaces directos).

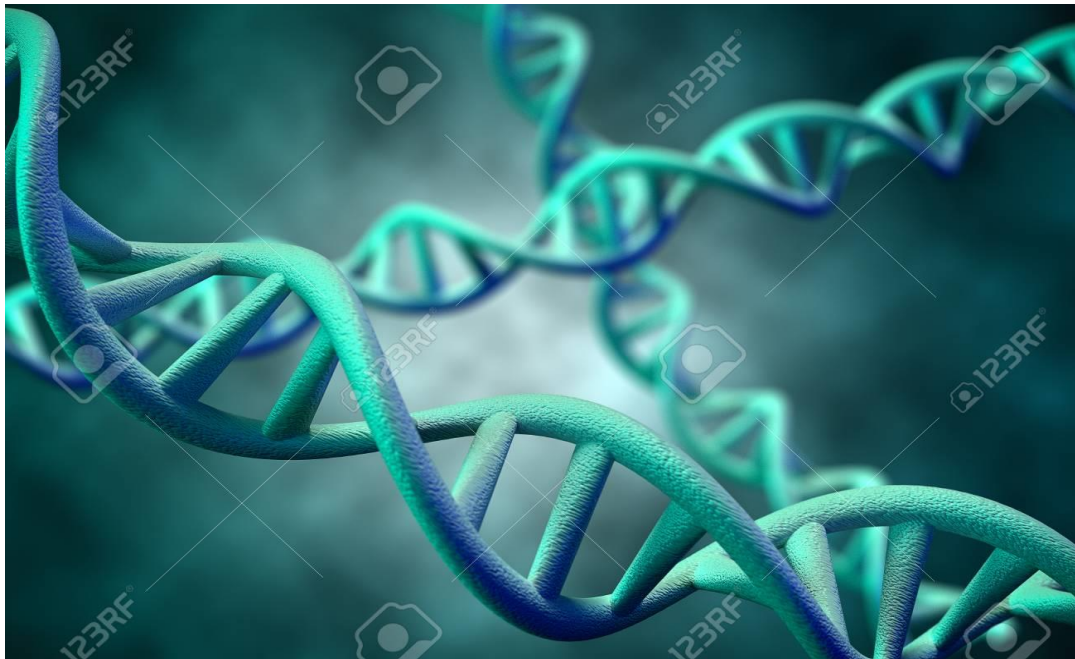
Watson y Crick reunieron datos de varios investigadores (entre ellos Franklin, Wilkins, Chargaff y otros) para ensamblar su célebre modelo de la estructura 3D del ADN. En 1962, James Watson, Francis Crick y Maurice Wilkins recibieron el Premio Nobel de medicina. Desafortunadamente, para entonces Franklin había muerto y los premios Nobel no se otorgan póstumamente.

Watson y Crick reunieron datos de varios investigadores (entre ellos Franklin, Wilkins, Chargaff y otros) para ensamblar su célebre modelo de la estructura 3D del ADN. En 1962, James Watson, Francis Crick y Maurice Wilkins recibieron el Premio Nobel de medicina. Desafortunadamente, para entonces Franklin había muerto y los premios Nobel no se otorgan póstumamente.

El modelo del ADN de Watson y Crick

La estructura del ADN, representada según el modelo de Watson y Crick, es una hélice dextrógira de doble cadena antiparalela. El esqueleto de azúcar-fosfato de las cadenas de ADN constituye la parte exterior de la hélice, mientras que las bases nitrogenadas se encuentran en el interior y forma pares unidos por puentes de hidrógeno que mantienen juntas a las cadenas del ADN.

En el modelo siguiente, los átomos naranjas y rojos indican los fosfatos del esqueleto de azúcar-fosfato, mientras que los átomos azules en el interior de la hélice pertenecen a las bases nitrogenadas.



Orientación antiparalela

El ADN de doble cadena es una molécula **antiparalela**, lo que significa que se compone de dos cadenas que corren una junto a la otra pero en direcciones opuestas. En una molécula de ADN de doble cadena, el extremo 5' (el que termina con un grupo fosfato) de una cadena se alinea con el extremo 3' (el que termina con un grupo hidroxilo) de su pareja y viceversa.

La hélice dextrógira

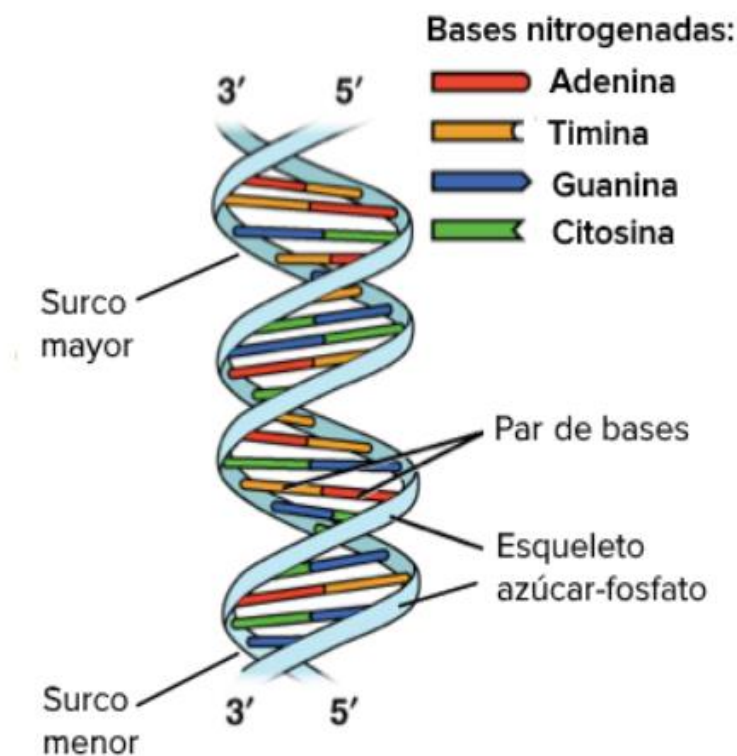
En el modelo de Watson y Crick, las dos cadenas de ADN giran una alrededor de la otra para formar una **hélice dextrógira**. Todas las hélices tienen direccionalidad, que es una propiedad que describe cómo se orientan los surcos en el espacio.

Para entender qué es lo que hace a una hélice dextrógira, imagina que envuelves la molécula de ADN que se muestra en la figura con tu mano derecha, con el pulgar apuntando hacia arriba. Ahora imagina que tus dedos se deslizan a lo largo de la parte exterior de la espiral. Tu mano debe moverse con la espiral, hacia arriba, en la dirección que apunta tu pulgar. Puesto que la mano derecha se mueve en la misma dirección que apunta el pulgar conforme se desliza a lo largo de la espiral, la doble hélice del ADN puede identificarse como dextrógira.

Si trataras de hacer lo mismo con la mano izquierda (con el pulgar apuntando hacia arriba), tu mano se deslizaría en la dirección contraria, hacia abajo, opuesta a la dirección en que apunta tu pulgar.

La doble hélice

[El descubrimiento de la estructura de doble hélice del ADN](#)(Se abre en una ventana nueva) se realizó gracias al trabajo de numerosos científicos en los años 1950.



La torsión de la doble hélice del ADN y la geometría de las bases crea un hueco más amplio (llamado **surco mayor**) y un hueco más estrecho (llamado **surco menor**) que corren a lo largo de la molécula, como se muestra en la figura anterior. Estos surcos son importantes sitios de unión para las proteínas que mantienen el ADN y regulan la actividad de los genes.

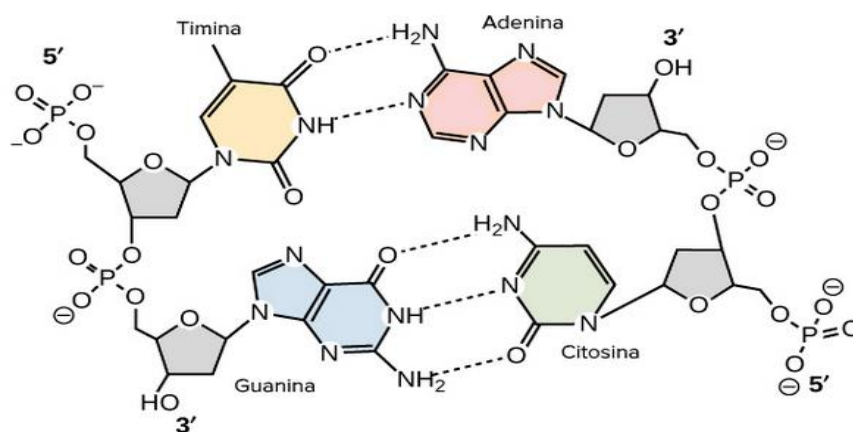
Las moléculas de ADN tienen una estructura *antiparalela*, es decir, las dos hebras de la hélice corren en direcciones opuestas una de la otra. Cada hebra tiene un extremo 5' y un extremo 3'.

La resolución de la estructura de ADN fue uno de los grandes logros científicos del siglo.

El conocer la estructura del ADN abrió la puerta para entender muchos aspectos de la función del ADN, como la forma en que se copia y la forma como la información que contiene se puede usar para hacer proteínas.

Apareamiento de bases

En el modelo de Watson y Crick, las dos cadenas de la doble hélice del ADN se mantienen unidas por puentes de hidrógeno entre las bases nitrogenadas en cadenas opuestas. Cada par de bases forma un "peldaño" en la escalera de la molécula de ADN. Los pares de bases no se forman por cualquier combinación de bases. Por el contrario, si hay una A en una cadena, deben estar emparejada con una T en la otra (y viceversa). Del mismo modo, una G en una cadena siempre debe tener una C como compañera en la cadena opuesta. Estas correspondencias entre A-T y G-C se conocen como **pares de bases complementarias**.

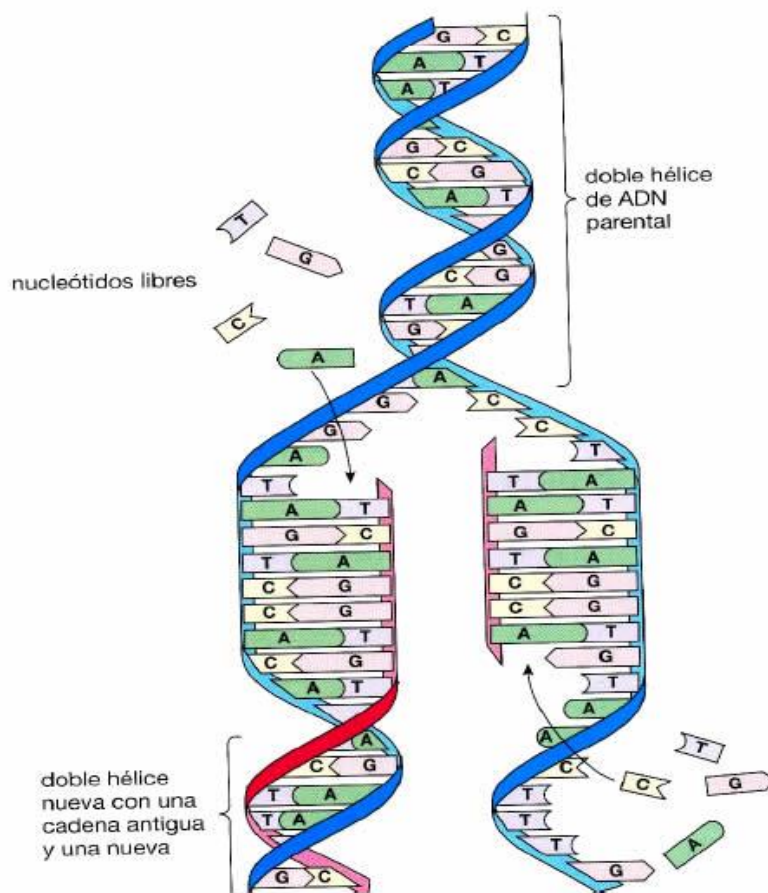


El emparejamiento de bases explica las reglas de Chargaff, es decir, por qué la composición de A siempre es igual a la de T y la composición de C es igual a la de G. Donde hay una A en una cadena, debe haber una T en la otra, y lo mismo es cierto para G y C. Puesto que una purina grande (A o G) se empareja siempre con una pirimidina pequeña (T o C), el diámetro de la hélice es uniforme, de aproximadamente nanómetros. Aunque el modelo original de Watson y Crick propuso que existían dos puentes de hidrógeno entre las bases de cada par, hoy sabemos que G y C forman un puente adicional (tal que los pares de A-T forman dos puentes de hidrógeno en total, mientras que los pares de G-C forman tres).

El impacto de la doble hélice

La estructura del ADN abrió la puerta para entender muchos aspectos sobre la función del ADN, como la forma en que se copia y la forma en que la célula utiliza la información que contiene para hacer proteínas.

Replicación del ADN



La **replicación del ADN** es semiconservativa. Esto significa que cada una de las dos cadenas en el ADN bicatenario funciona como molde para producir dos cadenas nuevas. La replicación depende del **apareamiento de bases** complementarias, es decir el principio que se explica con las reglas de Chargaff; adenina (A) siempre se aparea con timina (T), y citosina (C) siempre se aparea con guanina (G),

El proceso de replicación

La replicación del ADN ocurre con la ayuda de varias enzimas. Estas enzimas "abren" las moléculas de ADN cuando rompen los enlaces de hidrógeno que mantienen unidas las dos hebras.

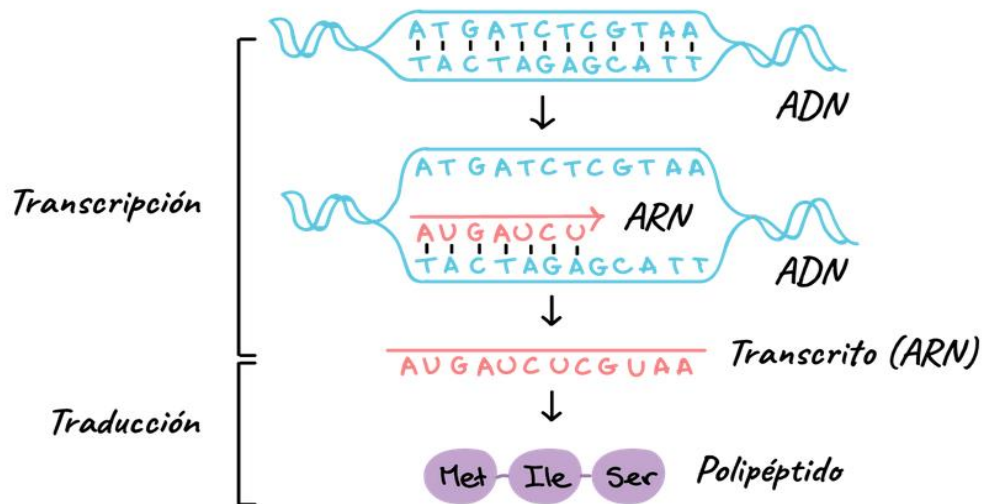
Cada hebra sirve como un molde para la creación de una nueva *hebra complementaria*. Las bases complementarias se unen unas con otras (A-T y C-G).

La principal enzima involucrada en esto es la *ADN polimerasa* que une los nucleótidos para sintetizar la nueva hebra complementaria. La ADN polimerasa además revisa cada nueva hebra de ADN para asegurar que no hay errores.

La transcripción

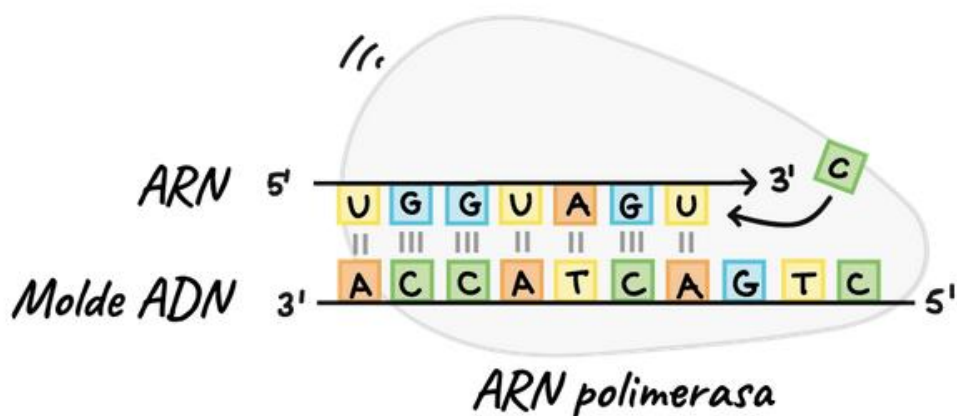
La transcripción es el primer paso de la [expresión génica](#), el proceso por el cual la información de un [gen](#) se utiliza para generar un producto funcional, como una proteína.

El objetivo de la transcripción es producir una copia de ARN de la secuencia de ADN de un gen. En el caso de los genes codificantes, la copia de ARN, o **transcrito**, contiene la información necesaria para generar un polipéptido (una proteína o la subunidad de una proteína). Los transcritos eucariontes necesitan someterse a algunos pasos de procesamiento antes de traducirse en proteínas.



La ARN polimerasa

La principal enzima que participa en la transcripción es la **ARN polimerasa**, la cual utiliza un molde de ADN de cadena sencilla para sintetizar una cadena complementaria de ARN. Específicamente, la ARN polimerasa produce una cadena de ARN en dirección de 5' a 3', al agregar cada nuevo nucleótido al extremo 3' de la cadena.



Las etapas de la transcripción

- 1- **Iniciación.** La ARN polimerasa se une a una secuencia de ADN llamada **promotor**, que se encuentra al inicio de un gen. Cada gen (o grupo de genes co-transcritos en bacterias) tiene su propio promotor. Una vez unida, la ARN polimerasa separa las

cadenas de ADN para proporcionar el molde de cadena sencilla necesario para la transcripción.

- 2- **Elongación.** Una cadena de ADN, la **cadena molde**, actúa como plantilla para la ARN polimerasa. Al "leer" este molde, una base a la vez, la polimerasa produce una molécula de ARN a partir de nucleótidos complementarios y forma una cadena que crece de 5' a 3'. El transcrito de ARN tiene la misma información que la cadena de ADN contraria a la molde (**codificante**) en el gen, pero contiene la base uracilo (U) en lugar de timina (T).
- 3- **Terminación.** Las secuencias llamadas **terminadores** indican que se ha completado el transcrito de ARN. Una vez transcritas, estas secuencias provocan que el transcrito sea liberado de la ARN polimerasa. A continuación se ejemplifica un mecanismo de terminación en el que ocurre la formación de un tallo-asa en el ARN.

La traducción

En el proceso de traducción, una célula lee información de una molécula llamada ARN mensajero (ARNm) y la utiliza para construir una proteína. La traducción sucede constantemente en una célula bacteriana normal, así como en la mayoría de las células de tu cuerpo, y es clave para mantenerte vivo a ti y a los "visitantes" bacterianos que tienes.

Las células necesitan la traducción para seguir vivas, y entender cómo funciona este proceso (para que podamos suspenderlo con antibióticos) nos puede salvar de las infecciones bacterianas.

La **traducción** implica "decodificar" un mensaje del ARN mensajero (ARNm) y utilizar su información para construir un **polipéptido** o cadena de aminoácidos. En la mayoría de los casos, un polipéptido no es más que una proteína (con la diferencia técnica de que algunas proteínas grandes se conforman de varias cadenas de polipéptidos).

Traducción: comienzo, desarrollo y final

Un libro o una película tiene tres partes principales: un comienzo, un desarrollo y un final. La traducción tiene básicamente las mismas tres partes, pero tienen nombres más elegantes: iniciación, elongación y terminación.

- **Iniciación** ("comienzo"): en esta etapa el ribosoma se reúne con el ARNm y el primer ARNt para que pueda comenzar la traducción.
- **Elongación** ("desarrollo"): en esta etapa los ARNt traen los aminoácidos al ribosoma y estos se unen para formar una cadena.
- **Terminación** ("final"): en esta última etapa el polipéptido terminado es liberado para que vaya y realice su función en la célula.

Veamos con más detalle cómo funciona cada etapa.

Iniciación

Para que pueda comenzar la traducción, necesitamos unos cuantos ingredientes clave; estos son:

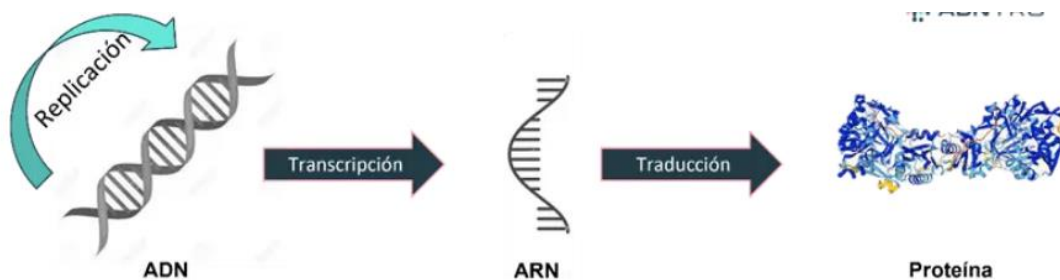
- Un ribosoma (que viene en dos subunidades, grande y pequeña)
- Un ARNm con las instrucciones para la proteína que vamos a construir

- Un ARNt "de inicio" que lleva el primer aminoácido de la proteína, que casi siempre es metionina (Met)

Durante la iniciación, estas piezas deben reunirse justo de la forma correcta. Juntas, forman el **complejo de iniciación**, el ensamblaje molecular para comenzar a fabricar una nueva proteína.

El dogma central de la biología molecular

El dogma fue propuesto originalmente por Francis Crick en 1958 y se basa en tres principios principales: replicación, transcripción y traducción del ADN.



Replicación del ADN

La replicación del ADN es el proceso por el cual **se copia la información genética contenida en una molécula de ADN a otra molécula de ADN**. Este proceso es esencial para la división celular (obtener dos células hijas a partir de una célula madre – **mitosis**). Además de para la transmisión de información genética de una célula a su descendencia.

En la replicación del ADN, la doble hélice de ADN se separa y cada cadena sirve como molde para la síntesis de una nueva cadena complementaria. La síntesis de la nueva cadena se lleva a cabo por la enzima **ADN polimerasa**. Dicha enzima requiere la presencia de una cadena molde de ADN y un *primer* de ARN. **El resultado es dos moléculas de ADN idénticas a la molécula original.**

Transcripción del ADN

Proceso por el cual **el ADN se transcribe a ARN**. La información genética almacenada en el ADN se transcribe en ARN mensajero (ARNm) por medio de la actividad de una enzima llamada **ARN polimerasa**. Para simplificar el proceso molecular, podríamos decir que la transcripción se trata de un **paso "intermedio"** y necesario para que la información que contiene el ADN pueda expresarse en elementos funcionales del organismo, las proteínas.

Traducción del ADN

Proceso por el cual **el ARN se traduce en proteínas**. El ARNm se transporta fuera del núcleo hacia el citoplasma donde se une a los ribosomas. Los ribosomas son los responsables de la síntesis de proteínas, y utilizan la información del ARNm para producir la secuencia correcta de aminoácidos que constituirán la proteína.

Conclusión del dogma de la biología molecular

El dogma de la biología molecular es un concepto fundamental en la biología molecular que **describe el flujo de información genética en una célula**. El dogma establece que la información genética fluye desde el ADN a través de la síntesis de ARN y luego a través de la síntesis de proteínas.

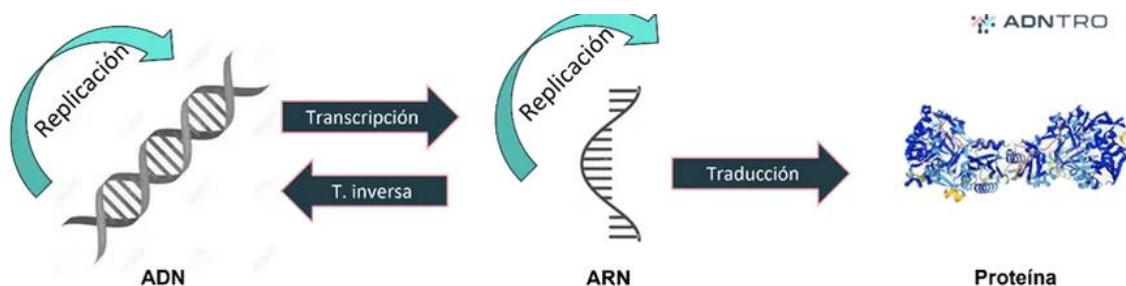
Más específicamente, el dogma establece que el ADN es transcrito en ARN, que a su vez es traducido en proteínas. Este proceso se conoce como **expresión génica** y es **crucial para el funcionamiento y la supervivencia de las células**.

El ADN es el material genético que contiene la información necesaria para la síntesis de proteínas, mientras que el ARN actúa como intermediario, transportando la información genética desde el ADN hacia los ribosomas, donde se produce la síntesis de proteínas.

Excepciones del dogma central de la biología molecular

Aunque el dogma ha sido ampliamente aceptado desde su formulación en la década de 1950, algunos descubrimientos recientes han puesto en duda su rigidez. Por ejemplo, se ha demostrado que **algunos virus pueden sintetizar proteínas a partir de ARN** sin pasar por el ADN, y que **ciertos tipos de ARN pueden tener funciones más allá de servir como intermediarios** en la síntesis de proteínas (como el ARN de interferencia).

Otra excepción es la **retrotranscripción**, proceso por el cual el ARN se utiliza como molde para sintetizar ADN. Este proceso es llevado a cabo por la enzima **transcriptasa inversa**, y se encuentra presente en los retrovirus, como el VIH.



Es importante tener en cuenta que estas excepciones son relativamente raras en comparación con los procesos que siguen las reglas del dogma central de la biología molecular. Sin embargo, estas excepciones son importantes para comprender la complejidad de la biología celular y para desarrollar una comprensión más completa de cómo fluye la información genética dentro de las células.

El siglo XX

1900-1940: la Genética clásica

La entrada en el siglo XX produce una explosión de nuevos descubrimientos que ya no se detendrá, y que continuará a un ritmo siempre creciente. Se resumirán brevemente los avances principales.

En la primera década se produce la síntesis de los trabajos genéticos (de hibridación experimental) y citológicos. Esta síntesis simboliza la mayoría de edad de la Genética, iniciándose como ciencia propia e independiente. El siglo empieza con el redescubrimiento de las leyes de Mendel por los trabajos de 3 botánicos: Carl Correns, Hugo de Vries y Eric Von

Tschermak, a las que el británico William Bateson dará un gran impulso. Se produce una integración inmediata de los estudios genéticos y citológicos. En 1902, T. Boveri y W. Sutton se percatan, de forma independiente, de la existencia de un estrecho paralelismo entre los principios mendelianos recién descubiertos y la conducta de los cromosomas en la meiosis. En 1905 Bateson acuñó (en 1901 había introducido los términos aleomorfo, homocigoto y heterocigoto) el término genética para designar "la ciencia dedicada al estudio de los fenómenos de la herencia y de la variación". En 1909 el danés Wilhelm Johannsen introduce el término gen como "una palabrita... útil como expresión para los factores unitarios... que se ha demostrado que están en los gametos por los investigadores modernos del mendelismo".

Thomas Hunt Morgan (el señor de las moscas) 1866-1948

Durante la segunda década de este siglo Thomas Hunt Morgan y su grupo de la Universidad de Columbia inician el estudio de la genética de la mosca del vinagre *Drosophila melanogaster*. En 1910 descubren la herencia ligada al X y la base cromosómica del ligamiento. En 1913 A. H. Sturtevant construye el primer mapa genético y en 1916 Calvin Bridges demuestra definitivamente la teoría cromosómica de la herencia mediante la no disyunción del cromosoma X. En 1927 H. J. Muller publica su trabajo en el que cuantifica mediante una técnica de análisis genético (la técnica CLB) el efecto inductor de los rayos X de letales ligados al sexo en *Drosophila*. En 1931 Harriet Creighton y Barbara McClintock en el maíz y Gunter Stern en *Drosophila* demuestran que la recombinación genética está correlacionada con el intercambio de marcadores citológicos. Todos estos descubrimientos condujeron a la fundación conceptual de la Genética clásica. Los factores hereditarios o genes son la unidad básica de la herencia, tanto funcional como estructuralmente (la unidad de estructura se definía operacionalmente por recombinación y por mutación). Los genes, a su vez, se encuentran lineal y ordenadamente dispuestos en los cromosomas como perlas en un collar.

Barbara McClintock (1902-1992)

Paralelamente a estos avances, otro conflicto que había surgido con el Origen de Darwin empezó a resolverse. Era el problema de la naturaleza de la variación sobre la que se produce la evolución. Mientras que Darwin puso énfasis en la evolución gradual y continua que transforma la variación dentro de las poblaciones en variación entre poblaciones, otros, como Thomas Huxley e, inicialmente, Galton (cuyo libro *Natural inheritance*, 1889, se considera fundador de la ciencia de la Biometría) creían que la evolución procedía de forma rápida y discontinua, por lo que la selección usaba primariamente variación discontinua, no teniendo ningún valor evolutivo la variación continua. Con el mendelismo este antagonismo se acentuó hasta convertirse en conflicto entre los mendelianos por un lado -que apoyaban la evolución discontinua- y los biométricos por el otro -que estudiaban cuantitativamente la variación en los caracteres físicos y creían en la evolución darwiniana-. Los primeros estaban capitaneados por Bateson, Morgan y Hugo de Vries mientras que Karl Pearson y W. F. R. Weldon (junto con Galton, que se les unió ideológicamente después) fueron los principales biométricos. En 1908 se formula la ley de Hardy-Weinberg, que relaciona las frecuencias génicas con las genotípicas en poblaciones panmícticas. Entre 1918 y 1932 la larga polémica entre biométricos y mendelianos se zanja finalmente: Ronald Fisher, Sewall Wright y J. B. S. Haldane llevaron a cabo la síntesis del darwinismo, el mendelismo y la biometría y fundan la teoría de la Genética de poblaciones. Fisher demuestra en 1918 que la variación cuantitativa es una consecuencia natural de la herencia mendeliana. El desarrollo de modelos matemáticos de acción de la selección despejó las dudas en cuanto a si la selección podía o no producir cambios importantes incluso cuando sus coeficientes eran débiles: la selección adquirió un papel preponderante como agente evolutivo. La Genética de poblaciones presenta la teoría de la evolución como una teoría de fuerzas -la selección, la mutación, la deriva genética y la

migración-. Estas fuerzas actúan sobre un acervo genético que tiende a permanecer invariable como consecuencia de la ley de Hardy-Weinberg (que a su vez es una consecuencia de la extensión de la primera ley de Mendel a las poblaciones). La Genética de poblaciones se estableció como el núcleo teórico, el componente explicativo, de la teoría de la evolución. La integración de la Genética de poblaciones con otros programas de investigación evolutiva (tales como la biología de poblaciones experimental, la sistemática, la paleontología, la zoología y la botánica) dieron luz, durante el periodo de 1937-1950, a la teoría sintética o neodarwinista de la evolución. En esta nueva teoría se produce la mayor integración de disciplinas, nunca antes alcanzada, de una teoría evolutiva.

Desde 1940 en adelante: el acceso al nivel molecular

Tras la segunda guerra mundial se produce el verdadero asalto a la naturaleza física del material hereditario. La genética de procariotas inicia los nuevos horizontes de indagación. Se establece finalmente el ADN como la sustancia genética. A ello le sigue el descubrimiento del dogma del flujo de la información genética: ADN → ARN → proteínas. También se producen grandes avances en el conocimiento de la estructura y función de los cromosomas. Por último, en los setenta surgen las técnicas de manipulación de ADN que afectarán revolucionariamente a todas las disciplinas de la genética. Se listan a continuación los principales hitos de este periodo.

A partir de los 1940 se aplican de un modo sistemático las técnicas moleculares a la Genética, resultando en un éxito extraordinario. Se inicia el acceso en el nivel molecular: la estructura y función de los genes es el próximo frente del avance genético.

1941: George Beadle y E. L. Tatum introducen *Neurospora* como organismo modelo, con el que establecen el concepto un gen-una enzima: los genes son elementos portadores de información que codifican enzimas.

1944: Oswald Avery, Colin McLeod y Maclyn McCarty demuestran que el "principio transformador" es el ADN.

J. Watson y F. Crick junto a su modelo metálico del DNA

1953: Esta fecha representa un momento culminante. James Watson y Francis Crick interpretan los datos de difracción de rayos X de Rosalind Franklin y Maurice Wilkins junto con datos de composición de bases de Erwin Chargaff concluyendo que la estructura del ADN es una doble hélice, formada por dos cadenas orientadas en direcciones opuestas (antiparalelas). La estructura 3-D se mantiene gracias a enlaces de hidrógeno entre bases nitrogenadas que se encuentran orientadas hacia el interior de las cadenas. Dicha estructura sugería, de un modo inmediato, como el material hereditario podía ser duplicado o replicado. Una estructura pasmosamente simple proveía la explicación al secreto de la herencia: la base material (ADN), la estructura (doble hélice 3-D) y la función básica (portador de información codificada que se expresa y se transmite íntegramente entre generaciones) del fenómeno genético era, por fin, inteligible. No debe sorprendernos que el descubrimiento de la doble hélice se considere el más revolucionario y fundamental de toda la biología. (Artículo Nature 1953 en pdf, celebración 50 aniversario en la UAB).

1958: Matthew Meselson y Franklin Stahl demostraron que el ADN se replicaba semiconservativamente. El problema de como la secuencia del ARN se traduce en secuencia proteica se empieza a resolver. Un triplete de bases codifica un aminoácido. Rápidamente se establece el flujo de la información genética (el dogma). Ese mismo año Arthur Kornberg aísla

la polimerasa del ADN y un año después Severo Ochoa aísla la ARN polimerasa, con la que inicia la elucidación del código.

1961: Sidney Brenner, François Jacob y Meselson descubrieron el ARN mensajero.

1966: Marshall Nirenberg y Har Gobind Khorana terminan de desvelar el código genético.

Simultáneamente a estos descubrimientos, Seymour Benzer publica en 1955 su primer trabajo sobre la estructura fina del locus rII en el fago T4. En 1961, François Jacob y Jacques Monod proponen el modelo del operón como mecanismo de regulación de la expresión génica en procariotas. Charles Yanofsky y su equipo demuestran la colinearidad entre genes y sus productos proteicos en 1964. En 1966 R. Lewontin, J. L. Hubby y H. Harris aplican la técnica de la electroforesis en gel de proteínas al estudio de la variación alozímica de las poblaciones naturales, obteniéndose las primeras estimas de la variación genética de un sinnúmero de especies. La teoría neutralista de la variación molecular introducida por el japonés M. Kimura en 1968 suministra la primera explicación satisfactoria al exceso de variación hallada.

Los 70 presencian el advenimiento de las técnicas de manipulación del ADN. En 1970 se aíslan las primeras endonucleasas de restricción y H. Temin y D. Baltimore descubren la transcriptasa inversa. En 1972 se construye en el laboratorio de Paul Berg el primer ADN recombinante in vitro. El año 1977 fue pródigo: se publican las técnicas de secuenciación del ADN de Walter Gilbert y de Frederick Sanger; Sanger y sus colegas publican, a su vez, la secuencia completa de 5387 nucleótidos del fago ϕ X171; varios autores descubren que los genes eucariotas se encuentran interrumpidos (intrones).

Los primeros ratones y moscas transgénicos se consiguen en 1981-82. Thomas Cech y Sidney Altman, en 1983, descubren la autocatálisis del ARN. Este mismo año M. Kreitman publica el primer estudio de variación intraespecífica en secuencias de ADN del locus Adh de *Drosophila melanogaster* y S. Arnold y R. Lande introducen el análisis correlacional a los estudios de selección fenotípica en la naturaleza. En 1986, Kary Mullis presentó la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa. En 1990 Lap-Chee Tsui, Francis Collins y John Riordan encontraron el gen cuyas mutaciones alélicas son las responsables principales de la fibrosis quística. Ese mismo año Watson y muchos otros lanzan el proyecto del genoma humano para cartografiar completamente el genoma humano y, finalmente, determinar su secuencia de bases. No es hasta 1995 que se secuencia el primer genoma completo de un organismo celular, el de *Haemophilus influenzae*. En 1996 se obtiene en el laboratorio de I. Wilmut el primer mamífero clónico (la oveja Dolly) obtenido a partir de células mamarias diferenciadas.

La era genómica

El proyecto Genoma humano, con una presupuesto de 3 mil millones de dólares y la participación de un Consorcio Público Internacional de EEUU, Reino Unido, Japón, Francia, Alemania, China y otros países, tenía como objetivo principal la consecución de la secuencia completa del genoma humano, el texto lineal formado por la secuencia de las cuatro bases químicas del ADN que contiene las instrucciones para construir un ser humano. Iniciado en 1990, el proyecto se dio por concluido en el 2003, dos años antes de lo previsto. Otros objetivos del proyecto eran la secuenciación de genomas de otros organismos modelos sobre los que se tenía un amplio conocimiento previo, como la bacteria *Escherichia coli*, la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, el gusano *Caenorhabditis elegans*, o la mosca del vinagre *Drosophila melanogaster*, y el considerar las implicaciones éticas, legales y sociales que suscitarían los resultados del proyecto. Ocho años después del inicio del proyecto público apareció en escena una empresa privada, Celera genomics, presidida por un brillante y revolucionario científico,

Craig J. Venter, que lanzó el reto de conseguir la secuencia humana en un tiempo récord, antes del previsto por el Consorcio Público. Proponía una estrategia de secuenciación alternativa a la secuenciación jerárquica que seguía el Consorcio, la secuenciación aleatoria (shotgun), con la que había conseguido secuenciar el primer genoma celular en 1995, el de la bacteria *Haemophilus influenzae*. Empieza a partir de ese momento una carrera apasionante por la conquista del genoma humano, que acabaría finalmente en tablas. El 26 de Junio de 2000, en un acto auspiciado por el presidente Bill Clinton y que tuvo como escenario la Casa Blanca, se encontraron los dos máximos representantes de las partes en competición, Venter por Celera, y el director del Consorcio Público, Francis Collins. Se anunció de forma conjunta la consecución de dos borradores de la secuencia completa del genoma humano. Las publicaciones correspondientes de ambas secuencias no aparecieron hasta Febrero de 2001. El Consorcio Público publicó su secuencia en la revista Nature, mientras que Celera lo hizo en Science. Tres años después, en 2004, el Consorcio publicó la versión final o completa del genoma humano. El proyecto genoma humano había concluido con un éxito rotundo y, en palabras de F. Collins, se iniciaba una nueva era de investigación basada en la genómica que afectaría crucialmente a la biología, a la salud y a la sociedad. Con ello se inaugura una nueva era, que dada la coincidencia con el nuevo siglo, bien podríamos definir con el lema.