

# LA REVOLUCIÓN GENÉTICA



## **Tema 5: LA REVOLUCIÓN GENÉTICA**

1.- LOS ÁCIDOS NUCLEICOS: ADN y ARN

2.- BIOLOGÍA MOLECULAR. DOGMA DE LA BIOLOGÍA MOLECULAR.

a) replicación, b) transcripción, c) traducción

-El código genético

3.- INGENIERÍA GENÉTICA.

a) Técnicas de la ingeniería genética:

\*ADN recombinante,

\*secuenciación del ADN,

\*reacción en cadena de la polimerasa PCR

\*la tecnología CRISPR

b) Aplicaciones de la ingeniería genética

El proyecto Genoma Humano

4.- BIOTECNOLOGÍA y SUS APLICACIONES.

a) Biotecnología médica

b) Biotecnología agrícola

La Polémica de los transgénicos

c) Biotecnología ambiental. Biorremediación.

5.- REPRODUCCIÓN ASISTIDA.

a) Principales técnicas de reproducción asistida:

\*inseminación artificial,

\*fecundación in vitro FIV,

\*inyección intracitoplasmática,

\*transferencia intratubárica de gametos

b) La conservación y la selección de embriones

6. LA CLONACIÓN

Técnicas: la paraclonación y la transferencia nuclear

7. LAS CÉLULAS MADRE

-Tipos: totipotentes, pluripotentes, multipotentes

-Aplicaciones de las células madre

-Células madre inducidas (IPs)

8. LA BIOÉTICA: RIESGOS E IMPLICACIONES ÉTICAS DE LA MANIPULACIÓN GENÉTICA Y CELULAR

-Principios fundamentales de la bioética

## LA REVOLUCIÓN GENÉTICA

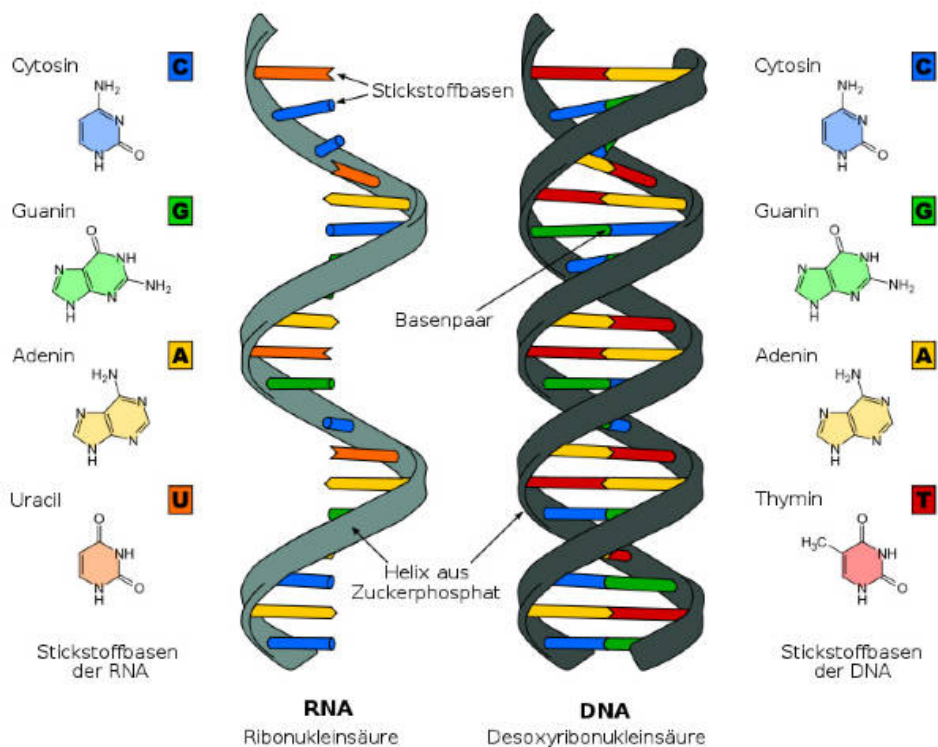
En las últimas décadas del siglo pasado, la especie humana ha hecho grandes avances que han permitido aumentar el bienestar y la esperanza de vida.

Desde entonces vivimos una revolución en la investigación de las ciencias biomédicas y la biotecnología. La reproducción asistida, la investigación contra el cáncer, los trasplantes, la manipulación genética y el uso de células madre para la regeneración de tejidos son algunos de los campos biomédicos con más relevancia científica y social hoy en día.

### 1.- LOS ÁCIDOS NUCLEICOS: ADN Y ARN

Los seres vivos basan su existencia en unos pocos elementos químicos, entre ellos el carbono, y en un puñado de reacciones químicas (que en conjunto reciben el nombre de metabolismo) que les permiten crecer, relacionarse y reproducirse, transformando energía y eliminando residuos.

La célula es la unidad del organismo vivo capaz de actuar de manera autónoma. Pese a las muchas diferencias de aspecto y función de los distintos seres vivos, todas las células contienen información, que está codificada en moléculas de ADN. Esta información dirige la actividad de la célula y asegura la reproducción y el paso de los caracteres a la descendencia (herencia). De esta forma se puede afirmar que el ADN contiene el manual de instrucciones de cualquier ser vivo.



El ADN es una macromolécula formada por la unión de múltiples nucleótidos. Un nucleótido de ADN posee los siguientes componentes: una molécula del azúcar desoxirribosa, una molécula de ácido fosfórico y una base nitrogenada: adenina (A) o guanina (G), timina (T) o citosina (C). Las bases nitrogenadas se emparejan A-T y G-C.

Mientras que en la molécula de ARN se aprecian dos diferencias: el azúcar es la ribosa, y en las bases el uracilo (U) sustituye a la timina. Las bases nitrogenadas se emparejan A-U y G-C.

Existen otras diferencias importantes como son:

-El ADN siempre ocupa el núcleo de la célula eucariota, mientras que el ARN puede encontrarse tanto en el núcleo como en el citoplasma.

-El ADN siempre es bicatenario (salvo algunos virus) y el ARN siempre es monocatenario (salvo algunos virus)

-El ADN una vez sintetizado puede ser usado pero no cambia (memoria ROM) mientras que el ARN es sintetizado, se utiliza y se reciclan sus piezas (memoria RAM)

Existen tres tipos principales de ARN:

**ARN mensajero**, que traslada la información del ADN del núcleo al citoplasma, en los ribosomas se emplea esa información para sintetizar proteínas. Cada proteína sintetizada en una célula es codificada por una molécula específica de ARN-m.

**ARN de transferencia**, que transporta aminoácidos para la síntesis de proteínas en los ribosomas.

**ARN ribosómico**, que constituye los ribosomas.

EL ADN posee una estructura primaria que tiene lugar por la unión de nucleótidos, para la formación de largas cadenas de polinucleótidos. Pero, además, existe una estructura secundaria en doble hélice formada por dos cadenas antiparalelas. 3

Antes de la división celular, el material genético, esto es el ADN, de una célula eucarionte está en la cromatina y es en la división celular cuando aparecen los cromosomas como estructuras independientes que contienen ADN y proteínas.

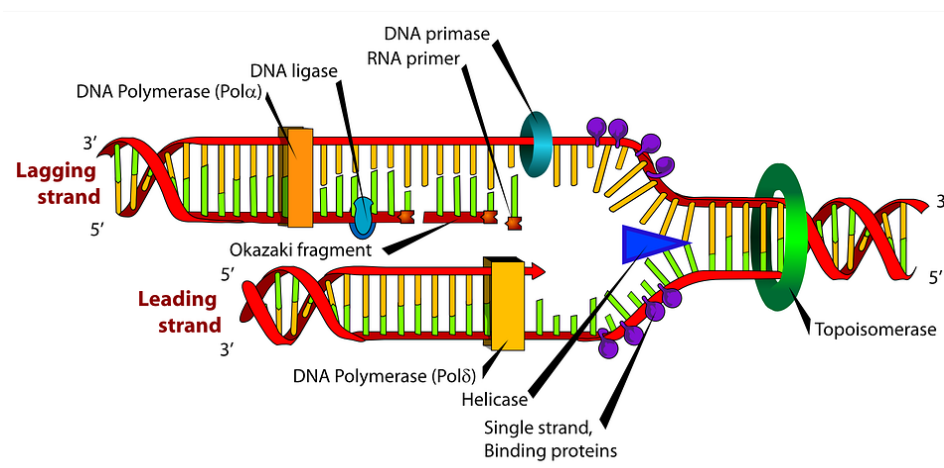
La molécula de ADN contiene secuencias de unidades llamadas genes. El gen es la unidad de información transmitida (información genética) que informa a la célula sobre cómo fabricar proteínas. Un gen=una proteína.

La replicación del ADN permite la transmisión de la información genética sin variación de célula a célula y de generación en generación, aunque puede haber variaciones ocasionales como cambios de unas bases por otras, eliminación o la intercalación de bases que pueden provocar la mutación, con la producción de nuevos genotipos sobre los que puede actuar la selección natural.

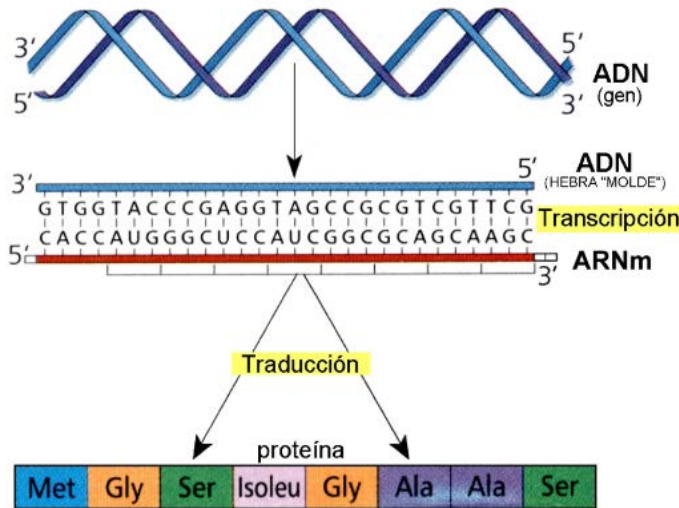
El intercambio de segmentos de ADN entre cromosomas diferentes puede conducir a la recombinación o intercambio de información genética, constituyendo otra fuente más de variabilidad genética. La especificidad informativa del ADN está en la forma cómo se secuencian en la cadena de ADN las cuatro bases de los nucleótidos, por ejemplo: AAGCTT\*<sup>T</sup>TGCAGGATCC.

## 2. PRINCIPIO GENERAL (no “dogma”) DE LA BIOLOGÍA MOLECULAR.

a) **REPLICACIÓN de ADN** es el mecanismo que permite al ADN duplicarse en el interior del núcleo celular y es una replicación SEMICONSERVATIVA. La molécula de ADN se abre como una CREMALLERA por ruptura de los puentes de hidrógeno entre las bases complementarias liberándose dos hebras y una enzima específica (ADN polimerasa) añade nucleótidos complementarios. Las 2 cadenas complementarias del ADN parental sirven de molde a su vez para la síntesis de una nueva cadena complementaria, de forma que cada nueva doble hélice contiene una de las cadenas del ADN parental y otra de nueva formación. De esta forma, cada nueva molécula es idéntica a la molécula de ADN inicial. El ADN produce copias idénticas, constituyendo la base de la herencia del material genético.



**b) TRANSCRIPCIÓN:** Durante la transcripción genética, las secuencias de ADN son copiadas a ARNm siguiendo el principio de complementariedad de bases. La transcripción produce ARN mensajero como primer paso de la síntesis de proteínas. El proceso se realiza en el núcleo. En las células eucariotas, una vez transcrito el ARN sufre un proceso de maduración que tras cortes y empalmes sucesivos elimina ciertos segmentos para producir el ARNm final o maduro.



**c) TRADUCCIÓN** o síntesis de proteínas: Es la construcción de una secuencia de aminoácidos (proteínas) con la información proporcionada por la molécula de ARNm. La información genética llevada por el ARNm deberá ser traducida en el citoplasma por una fábrica de

proteínas: el ribosoma.

El ADN contiene la información genética para sintetizar proteínas, pero esta síntesis se realiza en los ribosomas (qué se encuentran en el citoplasma). De modo que la información sale del núcleo en forma de ARNm para unirse a los ribosomas. En el citoplasma existen moléculas de ARN transferente y aminoácidos libres. Cada ARNt presenta dos puntos de unión; se une por un extremo a su aminoácido respectivo y por otro extremo a la cadena de ARNm.

En los ribosomas, comenzando por el grupo de nucleótidos (AUG), el llamado triplete iniciador, comienzan a unirse los ARNt, cada uno con su correspondiente aminoácido. A los grupos consecutivos de tres nucleótidos del ARNm (tripletes o codones) se les unen ARNt complementarios o específicos. Es decir, que presentan un grupo de 3 bases nitrogenadas (anticodón) complementarias al codón del ARNm. El proceso continúa estableciéndose estas

uniones “codón de ARNm-anticodón de ARNt” cargado éste con su aminoácido también específico.

Tras cada una de esas uniones, cada ARNt se desprende de un aminoácido, que se une a los aminoácidos colocados anteriormente mediante un enlace peptídico.

Este proceso se repite ininidad de veces hasta que se llega al codón UAA, UAG, ó UCA que le dan la señal de finalización, se libera la molécula de proteína y se separa del ribosoma el último ARNt

### El código genético

El código genético es el conjunto de normas por las que la información codificada en el material genético (secuencias de ADN o ARN) se traduce en proteínas (secuencias de aminoácidos) en las células vivas. El código define la relación entre secuencias de tres nucleótidos, llamadas codones, y aminoácidos. Un codón se corresponde con un aminoácido específico.

El código genético viene a ser como un "diccionario" que establece una equivalencia entre las bases nitrogenadas del ARN y el lenguaje de las proteínas, establecido por los aminoácidos. El número de codones posibles es 64, de los cuales 61 codifican

		Segunda letra				
		U	C	A	G	
Primera letra	U	UUU } Phe UUC } UUA } Leu UUG }	UCU } UCC } Ser UCA } UCG }	UAU } Tyr UAC } <b>UAA Alto</b> <b>UAG Alto</b>	UGU } Cys UGC } <b>UGA Alto</b> UGG Trp	U C A G
	C	CUU } CUC } Leu CUA } CUG }	CCU } CCC } Pro CCA } CCG }	CAU } His CAC } CAA } Gln CAG }	CGU } CGC } Arg CGA } CGG }	U C A G
	A	AUU } AUC } Ile AUA } <b>AUG Met</b>	ACU } ACC } Thr ACA } ACG }	AAU } Asn AAC } AAA } Lys AAG }	AGU } Ser AGC } AGA } Arg AGG }	U C A G
	G	GUU } GUC } Val GUA } GUG }	GCU } GCC } Ala GCA } GCG }	GAU } Asp GAC } GAA } Glu GAG }	GGU } GGC } Gly GGA } GGG }	U C A G

aminoácidos (siendo además uno de ellos el codón de inicio, AUG) y los tres restantes son sitios de parada (UAA, UAG, UGA). La secuencia de codones determina la secuencia de aminoácidos de una proteína en concreto, que tendrá una estructura y una función específicas.

El código genético tiene una serie de características:

- Es universal, pues lo utilizan todos los seres vivos conocidos.
- No es ambiguo, pues cada triplete tiene su propio significado.
- Todos los tripletes tienen sentido, bien codifican un aminoácido o bien indican terminación de lectura.

Está degenerado (mejor habría que decir “redundante”), pues hay varios tripletes para un mismo aminoácido, es decir hay codones sinónimos.

- Carece de solapamiento, es decir los tripletes no comparten bases nitrogenadas.

- Es unidireccional, pues los tripletes se leen en el sentido 5'-3'

### 3. INGENIERÍA GENÉTICA

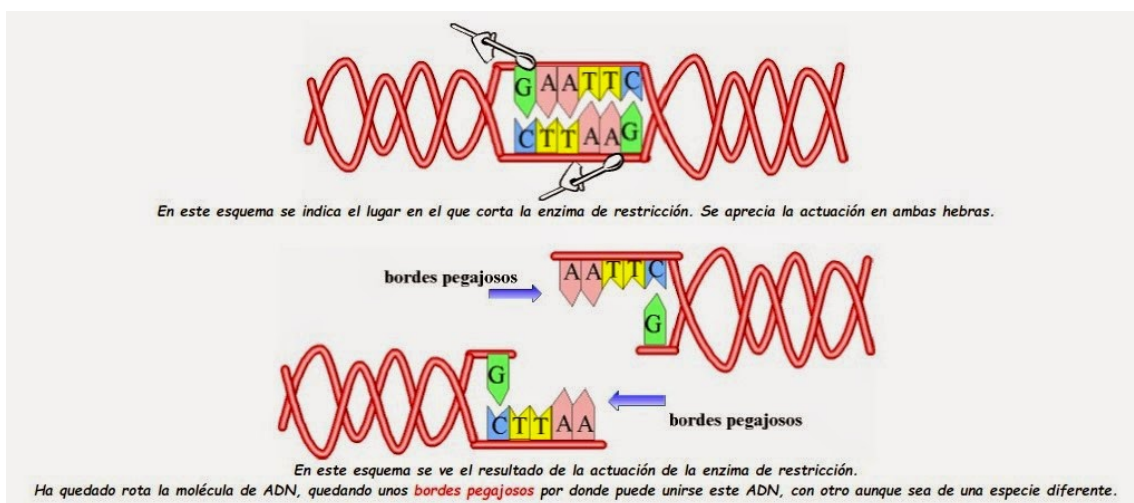
Aunque la estructura del ADN se descubrió a mediados del siglo XX de la mano del británico Francis Crick y el estadounidense James Watson, tras más de una década de mucho trabajo básico, a partir de 1970 se produjo un gran avance con el desarrollo de dos herramientas biológicas básicas: la identificación de las enzimas de restricción y la reacción en cadena de la polimerasa.

Con estas dos herramientas, un conjunto de técnicas y un mayor conocimiento de los genes, empieza la Biotecnología moderna, ciencia que integra las ciencias naturales y la ingeniería, con objeto de aplicar los organismos, las células, parte de ellas y sus moléculas, en el desarrollo de productos y servicios útiles para el ser humano. También nace, igualmente, la Ingeniería Genética, un conjunto de técnicas que permiten manipular los genes de un ser vivo.

#### a) Técnicas de la ingeniería genética

Las principales técnicas de la ingeniería genética son las siguientes:

.- **La tecnología del ADN recombinante.** Con la que es posible aislar y manipular un fragmento de ADN de un organismo para introducirlo en un ADN de un organismo extraño receptor. Se obtiene así un ADN recombinante y un organismo denominado organismo transgénico. Por ejemplo, introduciendo ADN vírico en ADN celular. Dada la universalidad del código genético, cualquier ADN introducido en una célula es traducido en forma de proteína (un ser vivo puede fabricar proteínas originarias de otro diferente)



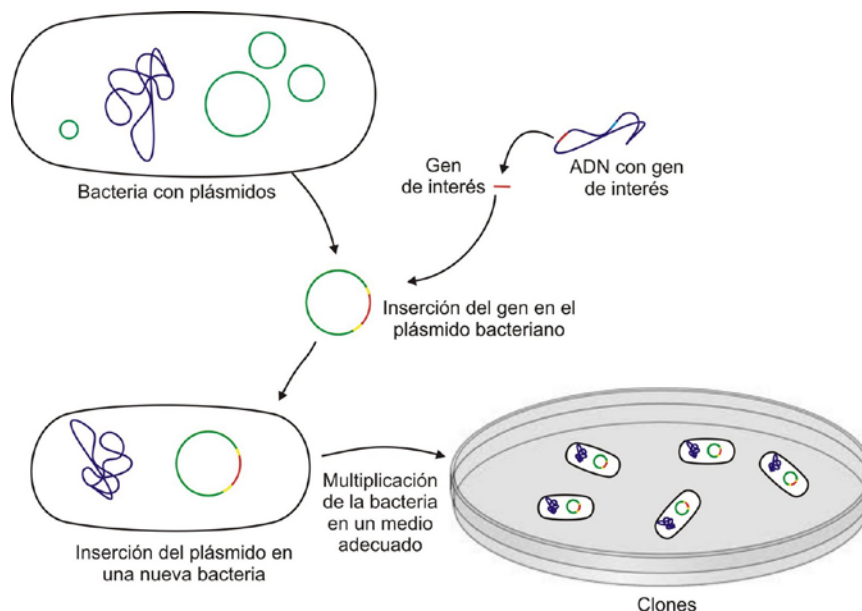


Esta técnica se realiza a través de las enzimas de restricción que son capaces de “cortar” el ADN en puntos concretos (tijeras moleculares). Esta tecnología permite obtener fragmentos de ADN que llevan, además, el gen o los genes que se deseen. Este ADN puede incorporarse a las células de otros organismos (vegetales, animales o bacterias) en los que se podrá “expresar” la información de dichos genes. Para trasvasar este gen desde la célula inicial a su destinataria se emplean los llamados “vectores”, que suelen ser virus ó fragmentos de ADN bacteriano extracromosómico (llamados plásmidos)

Las enzimas de restricción se aislaron en bacterias y lo característico de ellas son dos principios: a) Cada enzima de restricción reconoce una secuencia específica de nucleótidos y corta en un punto determinado cada una de las cadenas de ADN. b) Los extremos libres que quedan se llaman extremos pegajosos, porque pueden unirse a otros fragmentos de ADN que hayan sido cortados por la misma enzima de restricción.

Con la técnica del ADN recombinante se puede cortar un gen humano y unirlo al ADN de una bacteria. Así, si se corta el gen que regula la fabricación de insulina humana y se introduce en una bacteria, lo que se hace es obligar a esta a que fabrique insulina.

- Las técnicas de secuenciación del ADN. Permiten averiguar la secuencia de los nucleótidos que forman parte del ADN, sintetizar el mismo en el laboratorio, aislar genes, modificarlos y transferirlos a otras células.



El método de secuenciación enzimática parte de un molde que es ADN desnaturalizado, obtenido rompiendo la estructura en doble hélice (puede ser

por calentamiento) y de un cebador, en donde se va a iniciar la síntesis a partir del ADN molde anterior. El cebador permite que la enzima ADN-polimerasa pueda empezar a copiar el ADN. Este método enzimático ha permitido desarrollar la técnica de la secuenciación automática de ADN, de gran utilidad en la actualidad.

La técnica más sencilla de secuenciación es el método químico, que consiste en romper cadenas de ADN marcadas radiactivamente con reacciones químicas específicas para cada una de las cuatro bases nitrogenadas. Se generan así cadenas de distinta longitud, todas ellas terminadas en la base específicamente cortada. Los productos de estas reacciones se distribuyen luego de tal forma que la secuencia puede leerse basándose en el patrón de bandas radiactivas obtenidas.

## **b) Aplicaciones de la ingeniería genética**

- La producción de plantas y animales transgénicos, la clonación de animales, y obtención de microorganismos modificados genéticamente para producir fármacos u otros productos de utilidad, como la insulina humana.
- El diagnóstico de enfermedades hereditarias o causadas por la alteración de un gen. La detección precoz de algunas de las alteraciones permite un tratamiento adecuado que evita las consecuencias de la enfermedad.
- La terapia genética encaminada a corregir o sustituir un gen alterado por uno no mutado.

Avanza lentamente debido a que es difícil conseguir una manipulación de este tipo que no distorsione a la vez la expresión de genes.

- Identificación de especies, determinación de la huella genética de los individuos, secuenciación del ADN de fósiles y determinación de la secuencia de nucleótidos del genoma de diferentes especies.

**La reacción en cadena de la polimerasa (PCR).** Es una reacción enzimática realizada in vitro (en el laboratorio), que permite llevar a cabo una amplificación génica (obtención de grandes cantidades de material genético) como consecuencia de una serie de ciclos repetidos en los que secuencialmente el ADN: 1.se desnaturaliza el ADN por calentamiento, 2.se hibrida con cebadores, 3.se sintetiza nuevo ADN como extensiones de los cebadores actuando la ADN polimerasa de una bacteria que vive en aguas termales, así la enzima puede trabajar a altas temperaturas y 4.de nuevo se desnaturaliza con calor para dar

comienzo al siguiente ciclo. De esta forma se consigue aumentar el número de copias de un fragmento determinado de ADN, sin necesidad de aislarlo.

Aplicaciones de la PCR:

1. Secuenciación: Una de las razones más comunes para el uso de la PCR es la formación de suficiente cantidad de ADN molde para su secuenciación. Es mucho más sencillo y rápido que la clonación en células.
2. Estudios evolutivos: Mediante la PCR se pueden amplificar genes de organismos ya extinguidos, como del mamut, o restos antiguos humanos. Se pueden comparar estos genes con los genes semejantes de organismos actuales y reconstruir árboles filogenéticos.
3. Huellas dactilares del ADN: Mediante esta técnica es posible comparar muestras diferentes de ADN para comprobar si pertenecen al mismo individuo o no, o si existe parentesco entre ellas. Esta técnica se aplica actualmente en Medicina forense e investigaciones policiales, con el fin de identificar individuos a partir de muestras biológicas, como sangre, semen, piel o cabellos. También se utiliza en las pruebas de paternidad.

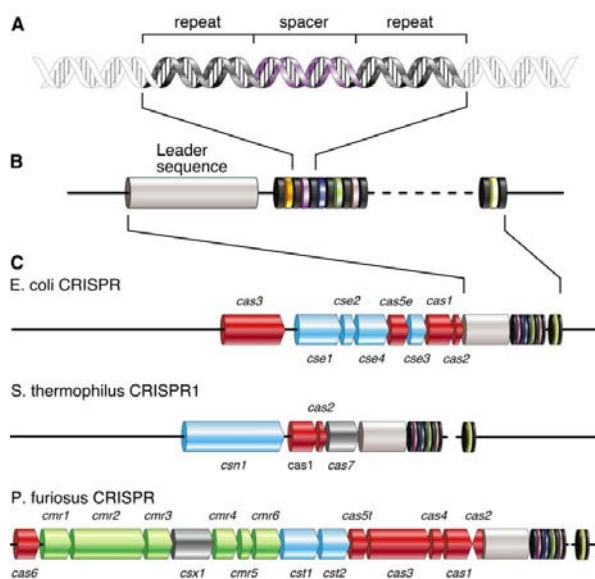
## La CRISPR

### ¿Qué es la tecnología CRISPR/Cas9 y cómo nos cambiará la vida?

La tecnología CRISPR/Cas9 es una herramienta molecular utilizada para “editar” o “corregir” el genoma de cualquier célula. Eso incluye, claro está, a las células humanas. Sería algo así como unas tijeras moleculares que son capaces de cortar cualquier molécula de ADN haciéndolo además de una manera muy precisa y totalmente controlada. Esa capacidad de cortar el ADN es lo que permite modificar

su secuencia, eliminando o insertando nuevo ADN.

Las siglas CRISPR/Cas9 provienen de Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats, en español “Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente interespaciadas.” La segunda es el nombre de una serie de proteínas, principalmente unas nucleasas, que las llamaron así por CRISPR associated system (es decir: “sistema asociado a CRISPR”).



Cuando un virus entra dentro de la bacteria toma el control de la maquinaria celular y para ello interacciona con distintos componentes celulares. Pero hacia 1990 se descubrió que las bacterias tienen sistemas de defensa formado por una proteína Cas unida al ARN producido a partir de las secuencias CRISPR. Entonces el material genético del virus puede interactuar con este complejo. Si ocurre eso, el material genético vírico es inactivado y posteriormente degradado. Pero el sistema va más allá. Las proteínas Cas son capaces de coger una pequeña parte del ADN vírico, modificarlo e integrarlo dentro del conjunto de secuencias CRISPR. De esa forma, si esa bacteria (o su descendencia) se encuentra con ese mismo virus, ahora inactivará de forma mucho más eficiente al material genético viral. Es, por lo tanto, un verdadero sistema inmune de bacterias.

Durante los años subsiguientes se continuó la investigación sobre este sistema, pero no fue hasta el año 2012 en el que se dio el paso clave para convertir este descubrimiento, esta observación biológica en una herramienta molecular útil en el laboratorio.

### **¿Cómo se edita el ADN con esta tecnología?**

Todo comienza con el diseño de una molécula de ARN (CRISPR o ARN guía) que luego va a ser insertada en una célula. Una vez dentro reconoce el sitio exacto del genoma donde la enzima Cas9 deberá cortar.

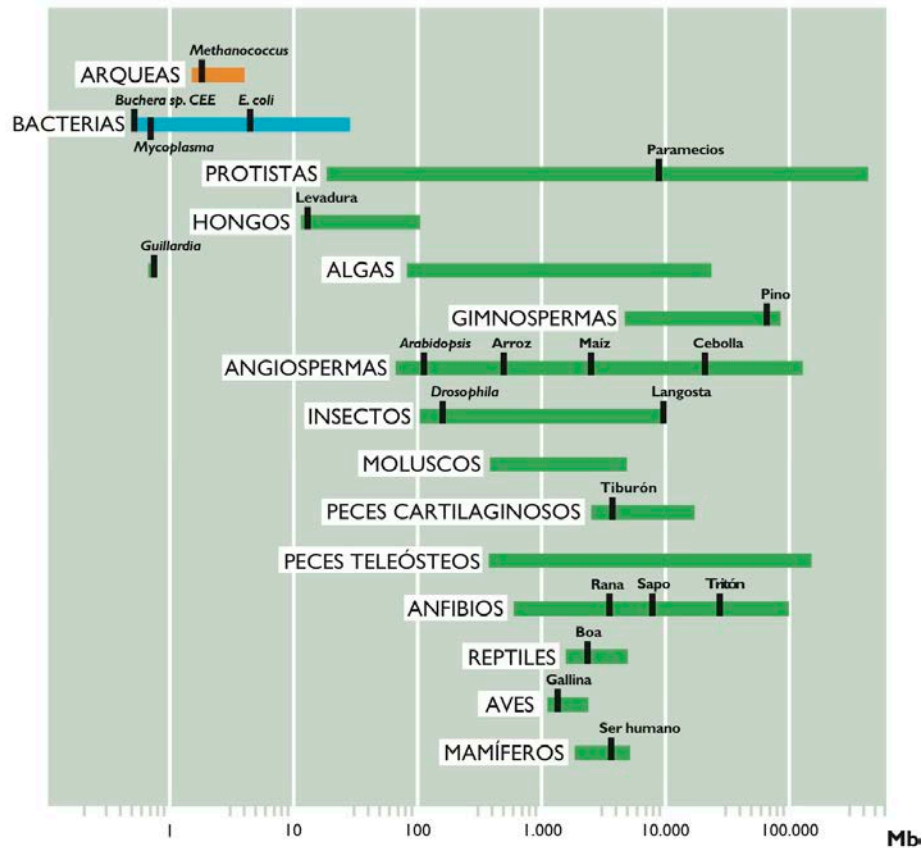
El proceso de editar un genoma con CRISPR/Cas9 incluye dos etapas. En la primera etapa el ARN guía se asocia con la enzima Cas9. Este ARN guía es específico de una secuencia concreta del ADN, de tal manera que por las reglas de complementariedad de nucleótidos se hibridará en esa secuencia (la que nos interesa editar o corregir). Entonces actúa Cas9, que es una enzima endonucleasa (es decir, una proteína que es capaz de romper un enlace en la cadena de los ácidos nucleicos), cortando el ADN. Básicamente podemos decir que el ARN guía actúa de perro lazarrillo llevando a Cas9, el ejecutor, al sitio donde ha de realizar su función.

En la segunda etapa se activan al menos dos mecanismos naturales de reparación del ADN cortado. El primero llamado indel (inserción-delección) hace que, después del sitio de corte (la secuencia específica del ADN donde se unió el ARN guía), bien aparezca un hueco en la cadena, bien se inserte un trocito más de cadena. Esto conlleva a la pérdida de la función original del segmento de ADN cortado.

## **4. EL PROYECTO GENOMA HUMANO**

Genoma es el conjunto de genes de un ser vivo, el genoma humano es el de la especie humana, y el proyecto del genoma humano (PGH) consiste en

determinar la secuencia de nucleótidos del genoma humano, es decir de su genotipo. El fin es descodificar el genoma humano, es decir, ubicar los aproximadamente 100.000 genes que se creía que existían y determinar la secuencia de todo el ADN humano.



Los objetivos del PGH se concretaron en:

- Obtener el mapa de los genes, o sea, identificar y localizar el conjunto de todos los genes en la molécula del ADN humano.
- Hallar la secuenciación de todas las bases químicas de los nucleótidos, es decir, determinar las posiciones relativas de dichas bases químicas del ADN.

Los mapas físicos de mayor resolución muestran la secuencia de nucleótidos en la molécula de ADN que constituye el cromosoma. Se establece la situación real de los genes en los cromosomas (en los mapas genéticos era un posición relativa). Se realiza fundamentalmente mediante la electroforesis en gel de distintos fragmentos de ADN y la ayuda de ordenadores. El completar este mapa se ha conseguido cinco años antes de lo que se esperaba.

- Almacenar esta información en bancos de datos, propiciando el intercambio de la información obtenida para uso de toda la humanidad.

- Desarrollar nuevas tecnologías aplicables a la secuenciación con la introducción de nuevos instrumentos para el análisis de los datos obtenidos.
- Suscitar un debate público en torno a los temas éticos, sociales, comerciales y legales, que se preveía surgirían con el paso del tiempo a propósito del desarrollo del proyecto.

En febrero de 2001 se presentaron simultáneamente los dos borradores del genoma humano, por lo que el genoma humano se convierte en propiedad pública y en patrimonio de la humanidad. Finalizó el 14 de abril de 2003.

### **El Proyecto Genoma Humano aporta las siguientes conclusiones:**

- Existe un número de genes humanos muy inferior al previsible inicialmente; en concreto, son menos de 30.000. Entre el ADN humano y el de la mosca de la fruta, por ejemplo, hay más de un 80 % de coincidencia, lo cual lleva a la conclusión de que todas las diferencias biológicas que hay entre una persona y una mosca pueden explicarse con el escaso 20 % restante. Si la comparación es con un mamífero, como una vaca o un cerdo, las coincidencias son del orden del 90 %, y si se hace con un chimpancé, entonces los ADN se vuelven idénticos en un 96 %.
- Un gen no codifica solo la síntesis de una proteína sino muchas, regulando las combinaciones posibles de fragmentos de gen, o empezando y terminando la expresión del gen a ARN o de la traducción de este a proteína en diferentes puntos.

Parte de la cadena de ADN no está formada por genes, y se habla de ADN basura y de pseudogenes (genes ligeramente alterados que no se expresan en términos genéticos porque la secuencia de sus bases químicas en cierto punto se interrumpe), además de la presencia de solapamientos o duplicaciones de genes y de transposones (genes que cambian de lugar en la cadena de ADN), por lo que los seres vivos complejos no están determinados solo por los genes, sino que el medio intracelular, el extracelular y el medio ambiente son factores importantes que influyen en el desarrollo.

El conocimiento de la secuencia completa del genoma humano es una potente herramienta para la investigación en biomedicina y en la genética clínica, que potencia el avance en el conocimiento de la patogenia de enfermedades poco conocidas, en el desarrollo de nuevos tratamientos y en la realización de mejores diagnósticos.

**Proyecto ENCODE: Enciclopedia del ADN, tiene como objetivo delinear todos los elementos funcionales codificados en el genoma humano.**

Nuestra comprensión del genoma humano es todavía incompleta, a pesar de su intensivo estudio, en relación con los ARN no codificantes, transcripciones con splicing alternativo, y secuencias reguladoras. La transcripción y su regulación son importantes para la identificación de genes y de regiones reguladoras, base importante de la organización y variabilidad génica en contextos entre células, especies e individuos.

El proyecto ENCODE (acrónimo de ENCYclopedia Of DNA Elements) tiene como objetivo delinear todos los elementos funcionales codificados en el genoma humano. Operativamente, se define un elemento funcional como un segmento de genoma discreta que codifica un producto definido (por ejemplo, proteína o ARN no codificante) o muestra una firma bioquímica reproducible (por ejemplo, unión a proteínas, o una estructura de la cromatina específica).

Este proyecto describe la producción y el análisis inicial de 1.640 conjuntos de datos de elementos funcionales del genoma humano. Se integran los resultados de 147 tipos de células diferentes, y todos los datos de ENCODE con otros recursos, tales como regiones candidatas de los estudios de asociación de genoma completo (GWAS) y regiones evolutivamente limitadas.

## **5. BIOTECNOLOGÍA**

El término biotecnología puede parecer ajeno aún cuando el ser humano ha utilizado esta ciencia desde hace miles de años. Esta actividad se define en términos generales como el uso de seres vivos, sus procesos o sus partes para la obtención de bienes y/o servicios, tanto en el sector salud como en el agropecuario.

Cada ser vivo, desde el más simple hasta el más sofisticado, posee una carga genética que determina una a una sus características: forma, color, sabor, tamaño, textura, etc. Desde que surgió la agricultura, hace más de 12.000 años, el ser humano identificó esas características en las plantas que cultivaba, y a lo largo del tiempo logró obtener plantas más resistentes a enfermedades y plagas así como más nutritivas y atractivas. Es decir, desde hace miles de años se han seleccionado genes. La ingeniería genética permite ahora llevar a cabo en pocos años y en forma controlada modificaciones que antes costaban décadas de trabajo. Las técnicas han ido evolucionando y actualmente es posible aislar una cierta característica (contenida en uno o varios genes), y transferirla a otro organismo gracias a la ingeniería genética. Esto es lo que se conoce como biotecnología moderna.

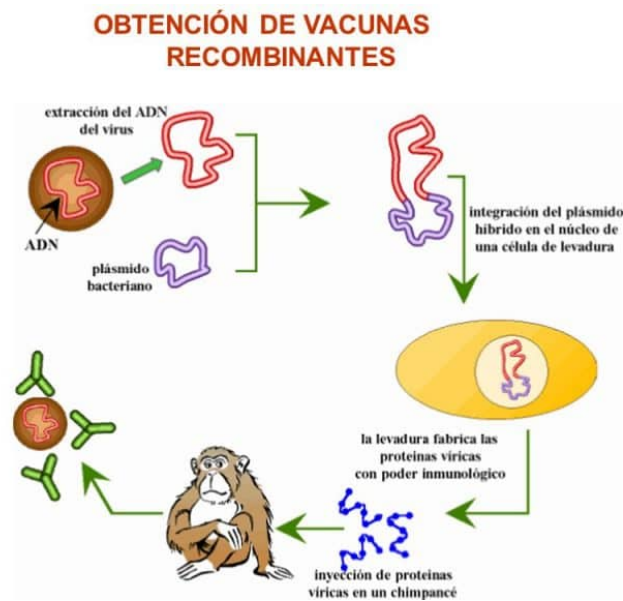
Algunas de las ramas de conocimiento implicadas en la biotecnología son la microbiología, la bioquímica, la genética, la biología celular, la química, la ingeniería

bioquímica, la ingeniería mecánica, la ciencia y tecnología de los alimentos, la electrónica y la informática.

Podemos destacar la **biotecnología médica** y la **agrícola** por su especial relevancia:

**Biotecnología médica:** Hay muchas proteínas con un alto interés médico y económico que se pueden obtener por medio de la biotecnología como antibióticos, enzimas, hormonas (insulina, hormona del crecimiento), vacunas (vacunas comestibles), proteínas sanguíneas (factores de coagulación)...Una de las principales vías de investigación actuales es la de marcar genéticamente a las células tumorales de un cáncer para que el organismo las reconozca como extrañas y pueda luchar contra ellas.

**Obtención biotecnológica de vacunas:** Al ADN vírico se hibrida con un plásmido bacteriano que se integra posteriormente en una levadura. Ésta fabrica proteínas víricas, que inyectadas en el chimpancé (o ser humano) desencadenan la fabricación de anticuerpos. Los anticuerpos impedirían que el virus original pudiese producir la enfermedad en ese sujeto.



La biotecnología médica abre un gran abanico de posibilidades destinada a la cura o mejora de enfermedades. La terapia génica, que permite curar enfermedades debidas a la presencia de un gen defectuoso. La técnica empleada consiste en introducir el gen sano en el individuo y que luego sus células produzcan la proteína que necesita. Este es el método que se emplea para el tratamiento de enfermos con fibrosis quística (enfermedad producida por un gen recesivo).



Existen grandes expectativas en torno a la terapia génica, pero actualmente se trata de técnicas en desarrollo que han planteado muy serios problemas, como son la aparición de tumores en los pacientes (llegando a producir su muerte) inducidos por los virus empleados como vectores, o la expresión deficiente de los genes corregidos.

**Biotecnología agrícola:** es la ciencia que permite modificar las características genéticas de los cultivos para ofrecer beneficios agronómicos y de calidad. La biotecnología agrícola permite obtener plantas tolerantes a herbicidas, resistentes a insectos y enfermedades, mayor vida comercial en los productos, resistencia a condiciones ambientales más agresivas (heladas, sequías) o a distintos tipos de suelos (secos o salinos). Por medio de la biotecnología agrícola se están desarrollando nuevos productos para obtener alimentos que otorguen un beneficio directo al consumidor: alimentos con más vitaminas y minerales, que resistan mejor al transporte y almacenamiento, así como frutas que contengan vacunas.

La producción de organismos transgénicos, es decir de organismos codificados en el laboratorio con genes de otras especies (bacterias, vegetales, o animales) ha permitido obtener variedades de cultivos, como los de soja o de maíz, resistentes al frío o a las plagas, aumentar la producción de los mismos y hasta obtener con ellos alimentos con mejores propiedades nutritivas (cereales con un mayor contenido de vitaminas).

Obtención de una planta transgénica resistente a los insectos por incorporación, mediante un plásmido, de un gen propio de una bacteria del suelo.

El primer alimento modificado por la ingeniería producido para el consumo masivo fue el tomate Flavr Svr (resiste más tiempo sin pudrirse tras la maduración). Los alimentos que posteriormente se modificaron fueron la soja transgénica, en la cual se modificó su constitución para hacerla más resistente a herbicidas y el maíz, al que se le modificó para resistir determinados insectos y generar mayores rendimientos por cultivo y cosecha.

Obtención de una planta transgénica resistente a los insectos por incorporación, mediante un plásmido, de un gen propio de una bacteria del suelo.

### **La Polémica de los transgénicos**

Existe un amplio sector que se mantiene en contra de la manipulación genética de los alimentos y que defiende que esta práctica atenta contra la salud de la población. El mayor peligro que presentan los alimentos transgénicos es el

desconocimiento de las consecuencias de su utilización, ya que nadie conoce ni puede predecir los efectos a largo plazo que la introducción de un gen, o de un conjunto de genes, tendrán sobre un organismo, sobre nuestra salud o sobre el medioambiente. Los peligros para la salud pública se deben sobre todo a que la introducción del gen transgénico conlleva la producción de proteínas completamente nuevas en el organismo modificado, que nunca han formado parte de nuestra dieta y que pueden resultar tóxicas o alergénicas. Los problemas medioambientales van desde las hibridaciones de especies transgénicas con sus parientes salvajes (por polinización cruzada, por ejemplo) con la consiguiente liberación del transgen al medio ambiente, a la desaparición de especies silvestres afectadas indirectamente por las nuevas propiedades adquiridas por los vegetales transgénicos (mariposa monarca) y la pérdida de numerosísimas variedades vegetales por decantarse los agricultores por variedades de mayor productividad, abandonando las tradicionales (15.000 variedades de arroz perdidas en Indonesia en 15 años).



Dada la corta historia de este tremendo avance tecnológico, existe poca legislación que controle o regule la utilización de los transgénicos. Al respecto, una de las condiciones que se deben cumplir (directiva europea de 1997) obliga a que los productos transgénicos:

- Demuestren ser necesarios y útiles.

- Sean seguros para la salud humana y el medio ambiente.
- Que sus características sean las declaradas y se mantengan a través del tiempo.
- Que posean un etiquetado detallado que especifique si el producto está modificado genéticamente.

### **Aplicaciones biotecnológicas al medio ambiente. Biorremediación.**

El término biorremediación fue acuñado a principios de la década de los '80. Los científicos observaron que era posible aplicar estrategias de remediación (eliminación de residuos) que fuesen biológicas, basadas en la capacidad de los microorganismos de realizar procesos degradativos.

Las primeras observaciones de biorremediación fueron con el petróleo, después de algunos organoclorados y organofosforados; “se advirtió que los microorganismos no sólo eran patógenos, sino que además eran capaces de absorber compuestos orgánicos, algunos naturales, otros sintéticos, y degradarlos.”

La biorremediación le da una ayuda al medio ambiente en la mejora de los ecosistemas dañados, acelerando dichos procesos naturales. Lo que hacen los microorganismos es degradar los desechos en productos menos tóxicos, además de concentrar e inmovilizar sustancias tóxicas, metales pesados; minimizar desechos industriales y rehabilitar áreas afectadas con diversos contaminantes. A veces, biorremediar un ambiente contaminado puede requerir la elaboración de un microorganismo genéticamente modificado que sea eficiente sólo para ese caso.

Un ejemplo sencillo de biorremediación puede ser el del petróleo. Los derrames de crudo provocan un desequilibrio al aumentar la cantidad de carbono, lo que descompensa los niveles de nitrógeno y fósforo, en esas condiciones metabólicamente no se puede consumir el carbono. La biorremediación de petróleo consiste en verter los mismos nutrientes que están descompensados, fósforo, nitrógeno y dejar que los microorganismos que ya están presentes “hagan su trabajo”.

## **6. REPRODUCCIÓN ASISTIDA**

La reproducción asistida surgió en la década de 1970. Se plantea dar una solución a la esterilidad, sin curarla. Consiste en una manipulación de los gametos para producir la reproducción de los seres humanos por un mecanismo diferente a la copulación o acto sexual entre ellos.

El punto de partida de una nueva vida humana es la fecundación (fusión) de dos células sexuales o gametos, una masculina (espermatozoide) y otra femenina (óvulo) para originar un cigoto con un desarrollo embrionario posterior en el embarazo, que termina en el parto.

### **a) Principales técnicas de reproducción asistida**

Son las siguientes:

**1ª. Inseminación artificial.** Consiste en la introducción del semen o esperma del varón que contiene los espermatozoides en el útero de la mujer para tratar de lograr el embarazo de ésta. La mujer recibe hormonas antes de la inseminación para estimular la ovulación, y posteriormente diferentes hormonas

para asegurar el embarazo. Se puede inseminar con semen de la pareja o de un donante. El semen puede ser manipulado a fin de que adquiera capacidad fecundante.

.- Con semen de la pareja y se practica cuando hay algún impedimento fisiológico en el hombre para lograr el embarazo de la mujer.

.- Con semen de un donante y se aplica en casos de infertilidad masculina; cuando se pueda transmitir una enfermedad hereditaria del varón a los hijos; y últimamente también se utiliza en casos en los que la mujer desee tener un hijo sin relaciones sexuales.

En España existen restricciones legales para el uso de semen de donantes:

\*la donación debe ser anónima, a fin de que el nacido no pueda reclamar nada de su padre biológico.

\* debe haber un proceso de selección de los donantes para comprobar que no padecen enfermedades graves o crónicas que puedan afectar a la descendencia.

\*la donación de semen deber ser gratuita, aunque se compensa económicamente las molestias que conlleva.

**2ª. Fecundación in vitro con transferencia de embriones (FIVET).** Consiste en la extracción del óvulo femenino para fecundarlo con espermatozoides obtenidos previamente del hombre y propiciar el encuentro de ambos en una probeta. Después de un tiempo de incubación en la probeta, el embrión fecundado se transfiere al cuerpo de la mujer para continuar su desarrollo posterior durante el embarazo hasta el parto. También requiere del empleo de hormonas en la madre. Se suelen implantar dos o tres embriones y los demás se conservan por si el primer intento no da resultado. Una de las polémicas planteadas actualmente es qué hacer con los embriones sobrantes, y si se pueden utilizar para obtener células madre embrionarias.

También cuando una mujer ha alcanzado la menopausia de forma prematura, le han sido extirpados ambos ovarios, ha sido tratada con radioterapia o cuando tienen anomalías que puedan ser transmitidas de forma sistemática a su descendencia, existe la posibilidad real de que quede embarazada mediante un proceso de fecundación in vitro con una donación de óvulos.

Existe la variante de la FIVET llamada ICSI o inyección intracitoplásmica de

espermatozoides, que es una técnica de micromanipulación que involucra inyectar espermatozoides directamente dentro del óvulo de la mujer para facilitar la fecundación. Hay que hormonar a la mujer para facilitar todo el proceso.



Hay que decir que en 1992 es cuando se publica la técnica de inyección intracitoplasmática de espermatozoides (ICSI) que ha revolucionado el tratamiento de la infertilidad de un enorme número de casos en los que los espermatozoides son incapaces de penetrar en el óvulo.

Proceso de fecundación artificial por inyección de un espermatozoide en un óvulo. 3ª. Transferencia intratubárica de gametos (GIF), en la que los espermatozoides y los óvulos son colocados directamente en la trompa de Falopio de la mujer mediante una laparoscopia. A partir de este momento, la fecundación puede seguir su curso normal. Esta técnica es intermedia entre una inseminación y una fecundación in vitro. También en este tratamiento ha de hormonarse a la mujer.

Todas estas técnicas pueden presentar problemas relacionados con la hormonación a la que se somete a la mujer (hiperestimulación ovárica). También existen mayores probabilidades de que se produzcan embarazos múltiples y ectópicos, de elevado riesgo.

## **b) La conservación y la selección de embriones**

Un número importante de embriones se pierden en el proceso de la fecundación in vitro, tanto en la forma FIVET como en la ICSI o en la GIF, en parte por la dificultad de que el embrión se implante, tras haber estado un tiempo en el laboratorio en lugar del cuerpo de la madre. De hecho hace falta repetir varias veces

la implantación de uno o más embriones en el cuerpo de la mujer hasta tener éxito y conseguir un embarazo. Por ello se planteó como necesario que existiese abundancia de embriones que se pudiesen transferir a una mujer y además un sistema adecuado para la conservación de los mismos.

Después de realizada la fecundación in vitro, el resto de los embriones viables producidos y no implantados son sometidos a un proceso de congelación para poder conservarlos durante cierto tiempo. Este procedimiento permite disponer de estos embriones si son requeridos en un momento posterior.

El proceso de congelación y descongelación afecta a su normal desarrollo, especialmente si proceden de fecundaciones realizadas con inyección del espermatozoide, que puede alterar la membrana del cigoto. Si no son requeridos por los progenitores, los embriones congelados quedan como sobrantes del proceso y legalmente pueden donarse a otra pareja, asimismo, pueden ser cedidos para investigar con ellos, o simplemente destruidos.

Los últimos avances de las técnicas de análisis del material genético se intentan aplicar a la selección de embriones en el ámbito de la reproducción artificial. Esto ha permitido poner en marcha un sistema de elección de los embriones in vitro. Para ello se somete a los embriones a un análisis genético previo a su implantación en la mujer, con el fin de introducir solo aquellos que se adapten a criterios establecidos. Se extrae una célula del embrión para analizar su ADN y poder así descartar unos embriones y emplear otros. Esta selección se realiza con base en los resultados obtenidos por el “diagnóstico preimplantacional”. Ello supone que las técnicas de fecundación in vitro, presentadas en un primer momento como una solución para parejas estériles, han cambiando de objetivo en los últimos años. Su finalidad ya no solo sería dar un hijo o una hija a quienes no pueden tenerlo de forma natural.

En España la reproducción asistida está regulada desde 1988. Posteriormente se promulgó una nueva ley del año 2003 (se impedía la fecundación de más de tres óvulos, no se podían usar los embriones originados con otra finalidad que la reproducción) y más recientemente se ha aprobado Ley de Reproducción Asistida de 2006 con bastante polémica.

- Acota el concepto de preembrión (embrión de menos de 14 días y formado “in vitro”
- Regula la aplicación de las Técnicas de Reproducción Asistida.

- No hay límite a la generación de óvulos pero solo autoriza la transferencia de tres preembriones. Los embriones sobrantes se usan según decisión de los donantes.
- Regula la donación de semen, óvulos y preembriones
- Permite la selección de embriones mediante diagnóstico genético preimplantacional
- Prohíbe las madres de alquiler y la clonación humana
- Regula los centros de reproducción asistida



## 7. LA CLONACIÓN

Clonar organismos significa obtener uno o varios individuos a partir de una célula somática (no sexual) o de un núcleo de otro individuo, de modo que los individuos clonados son genéticamente idénticos al original. En ingeniería genética, clonar es aislar una secuencia de ADN y obtener múltiples copias de ella.

En los animales superiores, la única forma de reproducción es la sexual y las células de un animal proceden de la división y diferenciación celular a partir del cigoto. Una vez terminado el desarrollo embrionario, las células somáticas, que

constituyen los tejidos del animal adulto, a diferencia de las células de las primeras fases del embrión, han perdido la capacidad de generar nuevos individuos y constituyen distintos tipos de células especializadas en funciones diferentes.

Aunque se han empleado otras técnicas para la obtención de clones, la más exitosa y casi la única utilizada actualmente se denomina transferencia nuclear.

-Clonación por transferencia nuclear En 1996 se obtuvo una oveja por clonación, Dolly, a partir del núcleo de una célula poco diferenciada pero de un individuo adulto, por lo que hay que decir que Dolly no es producto de la ingeniería genética. La oveja Dolly murió después de vivir seis años y de haber parido seis corderos mediante fecundación in vitro. Dolly fue sacrificada en abril de 2003, tras detectársele una enfermedad pulmonar que, según los especialistas, es común en estos mamíferos cuando llegan a la edad adulta. Sin embargo, Dolly sufría de vejez prematura, pues las ovejas pueden vivir entre 11 y 12 años.



El método practicado consta de las siguientes fases: a) obtener un óvulo de oveja al que se elimina su núcleo; b) implantar en el óvulo anterior un núcleo de célula de una oveja adulta donante (en este caso, de las mamas); c) el embrión que se obtiene se implanta en una tercera oveja que sirve como madre de alquiler para llevar a término la gestación. Así pues, Dolly carece de padre y es el producto de tres “madres”: la donante del óvulo, que contribuye con el citoplasma, la donante del núcleo, que contribuye con la inmensa mayoría del ADN, y la que parió, que genéticamente no aporta nada.



## **APLICACIONES DE LA CLONACIÓN**

1. Reproducción de animales transgénicos. Se formarían poblaciones de animales exentos de un gen perjudicial que causase una enfermedad (ejemplo, vacas locas). Se reproducirían animales que producen sustancias beneficiosas o animales portadores de genes que favorezcan la producción de carne o de leche.
2. Reproducción de animales en vías de extinción. Se aseguraría la supervivencia de la especie
3. Aplicaciones terapéuticas. Producción de células humanas para tratar diabetes o Parkinson, transplantes a partir de tejidos producidos o clonaciones.

## **8. LAS CÉLULAS MADRE**

Células madre (o troncales) son células que no han completado su diferenciación, bien por formar parte de un embrión de pocos días, o por formar parte de las reservas naturales de células inmaduras en el organismo adulto.

Presentan las siguientes características:

- a) Autorrenovación, es decir, capacidad de producir más células madre.
- b) Diferenciación, originan células hijas de variados tipos; es decir, distintos tipos celulares especializados.

**Las células madre pueden ser: totipotentes, pluripotenes y multipotentes.**

- a) Células totipotentes

Existen unos doscientos tipos de células especializadas y todas proceden de células madre no especializadas o diferenciadas. La primera célula de todo ser vivo, el huevo o cigoto, es totipotente, porque genera el embrión y, por tanto, el organismo completo.

Esta potencialidad se puede mantener en algunas de las células originadas tras las cuatro primeras divisiones del desarrollo embrionario de los animales después de la fecundación del óvulo, originándose un embrión con aspecto de bola sólida (mórula).

- b) Células pluripotentes

Pasados cinco días después de la fertilización se obtiene el blastocisto cuyas células son pluripotentes porque dan origen al feto completo con todos los tejidos y tipos celulares del adulto. Aunque no se mantienen indefinidamente como tales, sino que se diferencian sucesivamente en los diversos tipos celulares durante la fase del desarrollo en el útero.

Cuando estas se extraen del embrión y se cultivan in vitro, bajo ciertas condiciones, se convierten en células madre dotadas de sus dos propiedades: autorrenovación y capacidad de diferenciación. Se denominan también células madre embrionarias.

### c) Células multipotentes

En tejidos adultos diferenciados, existen células madre multipotentes, que pueden originar células de uno o varios tipos de tejidos. Se hallan en la médula ósea roja y en la piel, y se ha descubierto su existencia en todos los tejidos. Se encuentra en un tejido diferenciado, y que tiene como función permanecer como reserva para la reparación de tejidos y de órganos. La célula madre adulta puede renovarse a sí misma y, con ciertas limitaciones, diferenciarse para dar lugar a células del mismo u otros tipos de las del tejido del cual proviene. Se denominan también células madre adultas.

Según su origen existen diferentes tipos de células madre:

Las células madres embrionarias, provenientes de embriones excedentes de fertilización in vitro. Su uso supone problemas éticos.

Las células madre procedentes de cordón umbilical o de adultos. Su uso no presenta ningún tipo de problemas.

Las células madre inducidas se obtienen a partir de células adultas de la piel. El objetivo que se pretende conseguir es convertir estas nuevas células en células diferenciadas que no den lugar al crecimiento de tumores.

### **Aplicaciones de las células madre**

La investigación sobre células madre está ligada a la terapia celular (proceso de utilización de la capacidad de regeneración o sustitución de las células dañadas por enfermedad o accidente) en la medicina regenerativa. Se trata de reemplazar o restituir el correcto funcionamiento de un órgano dañado, utilizando para ello células madre. Así, entre otras muchas posibilidades, podrán originar neuronas que sustituyan al tejido cerebral dañado, células del músculo cardíaco que restituyan

la funcionalidad de un corazón afectado por un infarto o células del páncreas que segreguen insulina en una persona diabética.

La terapia celular a partir de células madre embrionarias está descartada por ahora debido a que no se ha podido dominar el descontrol de su proliferación. Queda solo la posibilidad de usarlas en investigación.

La terapia celular a partir de células madre de adulto se basa en su capacidad de madurar y en su plasticidad (capacidad de una célula madre adulta de reprogramarse para originar células distintas al tejido de procedencia). Genera células especializadas de otros linajes o del mismo.

Existe experiencia positiva, aunque todavía muy reciente, aumenta la perspectiva de obtener a largo y medio plazo terapias celulares, sin los problemas técnicos y éticos asociados a la producción y destrucción de embriones humanos.

El proceso parte de la extracción en el enfermo de una muestra de tejido que las contenga, por ejemplo, de la médula ósea, la grasa, etc., de la cual aislar la célula deseada. A continuación se manipulan in vitro las células para obtener la cantidad suficiente y el estado de maduración adecuado para devolverlas al paciente. El riesgo de rechazo es nulo; ahora bien, queda mucho por investigar.

**Clonación terapéutica:** (clonación con fines curativos) Un embrión clonado a partir de material genético de un enfermo no tendrá ningún riesgo de rechazo, al poseer el mismo genoma. El proceso se realiza extrayendo el núcleo de una célula somática para introducirlo en un óvulo al que previamente se le ha retirado su núcleo, así se consigue un cigoto clónico. Se presentan varios problemas, entre ellos, la obtención de óvulos que han de ser donados por mujeres u obtenidos de otra especie sin que se sepa claramente las consecuencias que esto conlleva. A finales del año 2007 se descartó el uso terapéutico de la clonación existiendo un rechazo muy generalizado a la clonación de embriones con fines reproductivos.

Investigación: La existencia de bancos de embriones congelados excedentes de las técnicas de fecundación in vitro ha posibilitado las primeras investigaciones con células madre embrionarias y ha dado origen a un gran debate dentro del marco de la Bioética.

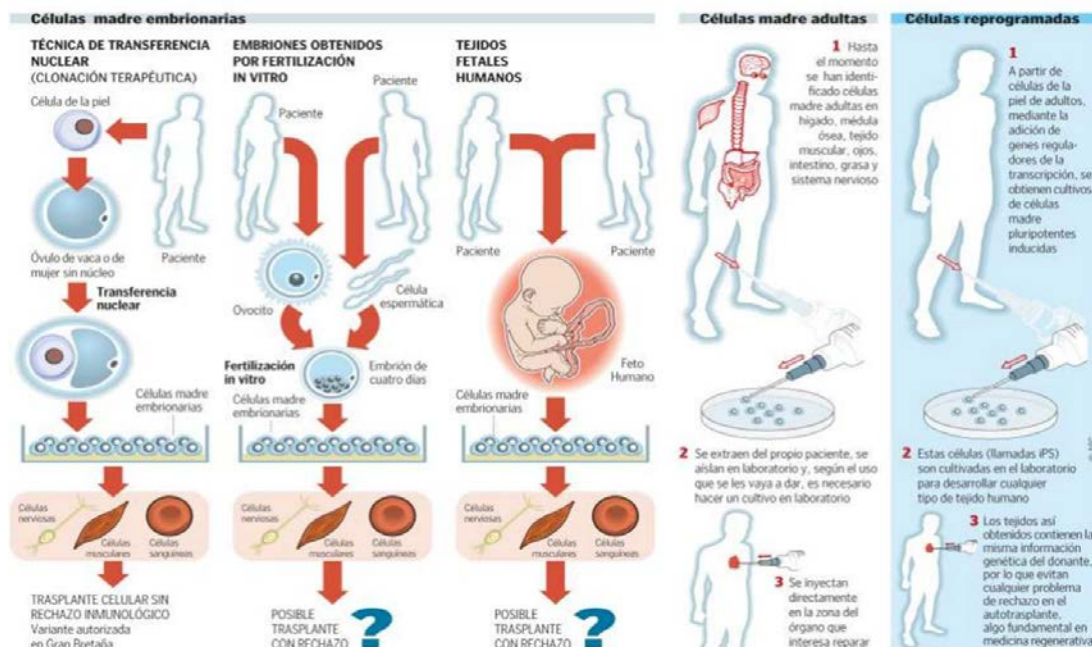
Células madre del cordón umbilical: En el momento del parto se puede recoger la sangre circulante del cordón umbilical sin que ni la madre ni el bebé se vean afectados. En esta sangre aparecen gran cantidad de células madre sanguíneas así como cierta cantidad de células madre mesenquimales que tiene potencialidad para generar células de órganos internos (hígado, páncreas),

músculos, nervios...Se almacenan congeladas en bancos de sangre de cordón umbilical. Los resultados de numerosos ensayos clínicos indican que hay menos posibilidades de tener un rechazo de trasplante entre distintas personas utilizando de sangre compatible del cordón umbilical que en el caso del trasplante de médula ósea (ya que las células del sistema inmunitario del recién nacido están menos desarrolladas que en el adulto).

Su uso principal es el de servir como fuente de células madre sanguíneas en enfermedades tales como la leucemia (no serviría la sangre del cordón umbilical del propio enfermo) aunque sus aplicaciones futuras serían enormes.

Células IPs: Recientemente se ha conseguido rejuvenecer células madre de la piel de un adulto hasta células en estado embrionario. El procedimiento ha consistido en inducir en fibroblastos la expresión de cuatro de los genes que mantienen el estado pluripotencial utilizando retrovirus para ello. Se revierte el estado de célula adulta a un equivalente embrionario. Estas células crecen in vitro y pueden de nuevo madurar y convertirse en células del corazón, de la sangre o en neuronas. No se pueden utilizar para terapia regenerativa, pero son muy útiles para investigar enfermedades y puede que sirvan en un futuro para la terapia génica. Las Ips tienen aplicaciones como modelos para estudio de enfermedades, posibles usos terapéuticos (disminuyendo el rechazo en los trasplantes y sin la controversia del uso de embriones que tienen las células ES) e investigaciones básicas.

**DIFERENTES FORMAS DE OBTENER CÉLULAS MADRE**



## 9. LA BIOÉTICA: RIESGOS E IMPLICACIONES ÉTICAS DE LA EDICIÓN GENÉTICA Y CELULAR

La bioética o ética aplicada a las intervenciones en los seres vivos, es el estudio sistemático de la conducta humana en el área de las ciencias de la vida y de la salud, desde el punto de vista de la licitud o ilicitud moral de este tipo de acciones.

Por ejemplo el conocimiento del código de un genoma abre las puertas para nuevos conflictos ético-morales.

Quienes tengan desventaja genética serían discriminados. Esto atentaría contra la diversidad biológica y reinstalaría entre otras, la cultura de una raza superior, dejando marginados a los demás.

- Que las compañías aseguradoras, empresarios, ejército u otras personas utilizaras de manera deshonesta este tipo de información.
- Pérdida de la privacidad y confidencialidad de la información.
- Impacto psicológico y estigmatización de la sociedad ante un individuo genéticamente diferente.
- Mejoras genéticas para determinar características específicas de los individuos, pero que no están relacionadas con el tratamiento de enfermedades.
- Comercialización de la información genética.

Se plantean, por ejemplo, si es ético o no practicar ensayos clínicos con animales como gorilas o chimpancés para el descubrimiento de nuevos fármacos. Es obvio que los seres vivos tienen un valor que es mayor en cuanto son más complejos, poseen un comportamiento instintivo más rico y experimentan emociones. Por ello, existe un criterio ético en la manipulación de los vivientes que exige una proporcionalidad racional. Así podríamos decir respecto a esta cuestión que no se debe hacer en un primate lo que se puede hacer en un roedor de laboratorio; que no se debe hacer en un animal vivo lo que se puede hacer sobre una célula o empleando una molécula.

Un principio fundamental de la bioética es que no todo lo que es técnicamente posible puede considerarse moralmente admisible. No todo lo que puede hacerse, debe hacerse.

Los principios fundamentales de la bioética son los siguientes:

Principio de autonomía. Es un principio de respeto a las personas que impone la obligación de asegurar las condiciones necesarias para que actúen de forma autónoma.

Principio de beneficencia: Obligación de actuar en beneficio de otros, promoviendo sus legítimos intereses y suprimiendo perjuicios.

Principio de no maleficencia (Primum non nocere): Abstenerse intencionadamente de realizar acciones que puedan causar daño o perjudicar a Otros. Es un imperativo ético válido para todos, no sólo en el ámbito biomédico sino en todos los sectores de la vida humana.

Principio de justicia: Tratar a cada uno como corresponda con la finalidad de disminuir las situaciones de desigualdad (biológica, social, cultural, económica, etc.)