

# Ciclo Celular

## “Meiosis”



Nombre: \_\_\_\_\_ Curso \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

### Introducción

Otra forma de división celular es la **MEIOSIS**, que permite la formación de células con la mitad de la información genética de la célula que se divide. A partir de una célula **diploide (2n)** se obtienen cuatro células **haploides (n)**, gracias a dos divisiones sucesivas (nucleares y citoplasmáticas) llamadas **meiosis I** y **meiosis II**. Ambas comprenden profase, metafase, anafase y telofase.

Cabe destacar que sólo en la **meiosis I** ocurre la duplicación de material genético. Por otra parte podemos mencionar que este tipo de división celular es exclusiva de los organismos que se **reproducen sexualmente** y permite la **variabilidad genética**, con esto se obtiene descendiente con información genética diferente a la de los progenitores (En los organismos con reproducción asexual, es decir, por división celular simple o mitosis. Los progenitores y su descendencia son idénticos genéticamente)

En los organismos con reproducción sexual tiene importancia ya que es el mecanismo por el que se producen los óvulos y espermatozoides (gametogénesis).

## 1. Meiosis

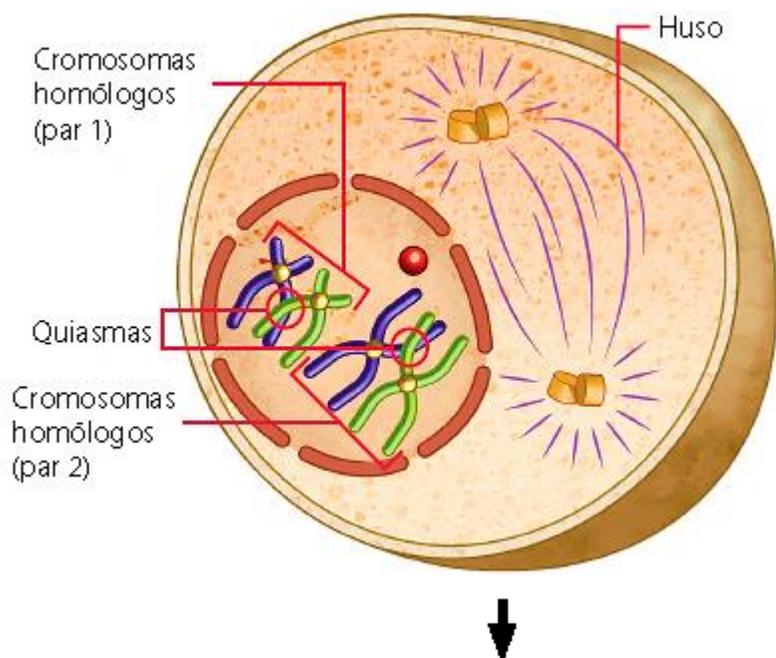
A continuación se representa la división meiótica de una célula animal de cuatro cromosomas.

### 1.1. Meiosis I

#### Reducción del material genético y base de la variabilidad

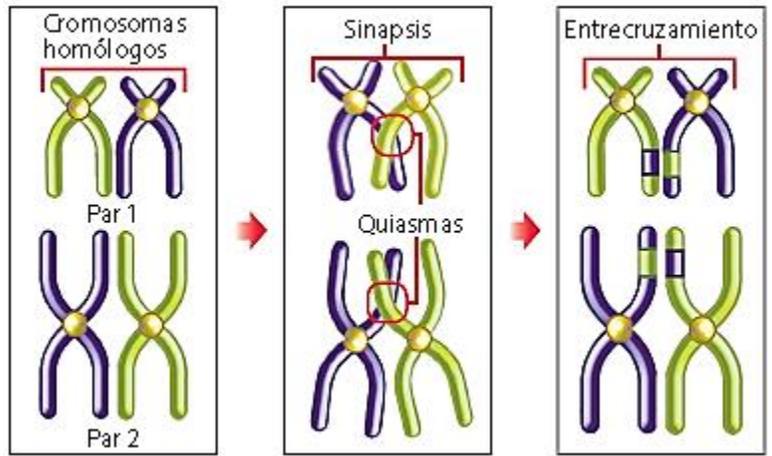
#### Profase I

Al igual que en la profase mitótica, la cromatina se condensa y forma los cromosomas. Los centríolos migran hacia los polos y desaparecen la envoltura nuclear y el nucléolo.



### Entrecruzamiento o crossing-over

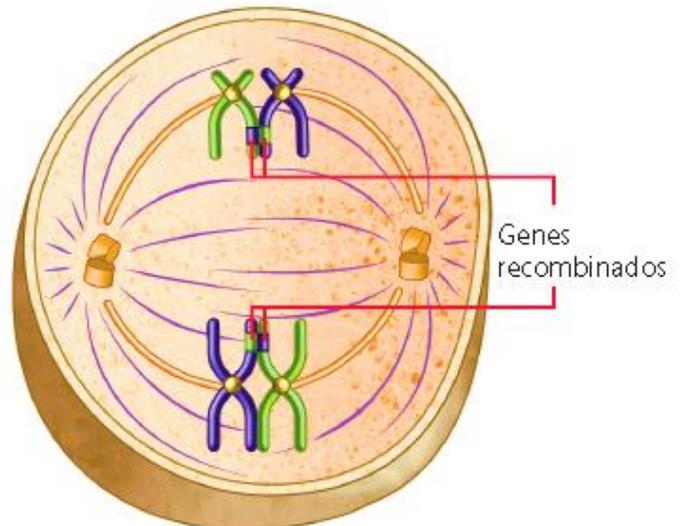
Lo fundamental en la **profase I** es que los **cromosomas homólogos** origen materno y paterno, se aparean originando. Este proceso se denomina “**sinapsis**” y forman lo que se conoce como tétrada o cromosoma bivalente, dando la impresión de que se trata de un cromosoma con cuatro cromátidas. En estas tétradas se forman uniones llamadas **quiasmas**, zonas en las que ambos homólogos intercambian material genético o genes, proceso que se denomina **entrecruzamiento** o **crossing-over**. Los quiasmas permiten mantener unidos a los cromosomas hasta su separación en anafase I.



— Cromosomas paternos  
— Cromosomas maternos

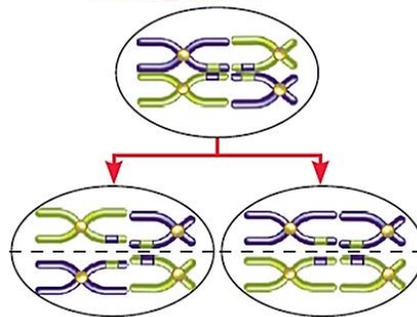
### Metafase I

Los *cromosomas homólogos* se disponen en el ecuador de la célula al azar, uno frente al otro, todavía unidos en las zonas donde hubo entrecruzamiento. Los cromosomas homólogos han conservado su centrómero de manera independiente, y mediante estos, cada cromosoma se asocia a una fibra del **huso meiótico**.



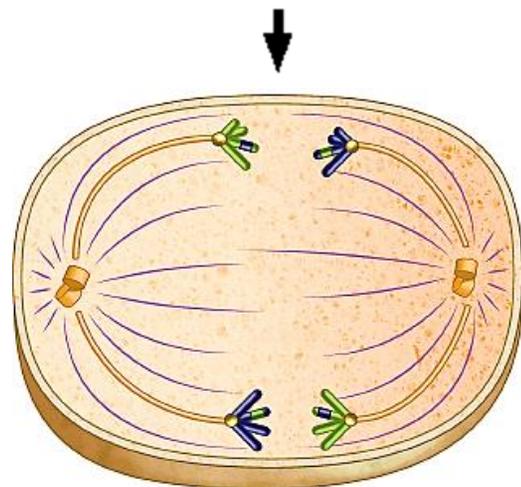
### Permutación cromosómica

En cada uno de estos pares, tanto el cromosoma de origen materno como el paterno pueden ubicarse hacia cualquiera de los polos, lo que se denomina **permutación cromosómica**. Esto **genera variabilidad** en las células que se van a originar, ya que existen múltiples posibilidades de permutación. En el caso del ser humano, se pueden generar más de ocho millones de gametos con información distinta.



### Anafase I

Cada uno de los cromosomas homólogos recombinados es arrastrado por el huso meiótico y conducido hacia los respectivos polos. Este proceso se denomina **segregación** o **disyunción** de los cromosomas homólogos.



## Telofase I

Los cromosomas ya se disponen en los polos y comienza la reorganización de la envoltura nuclear y del nucléolo. Luego ocurre la **citodiéresis** y se forman dos células con la mitad de los cromosomas de la célula original: **células haploides**.

## Citocinesis.

Se producen el reordenamiento de los componentes celulares y la reorganización del citoesqueleto.

Como resultado de la meiosis I, obtenemos 2 células haploides, con  $2c$  de ADN.

## 1.2. Meiosis II

Anterior al desarrollo de la meiosis II, estas dos células pasan por una interfase corta, en la cual no ocurre la duplicación del ADN. En el siguiente esquema se representa la segunda parte de la división meiótica:

## Profase II

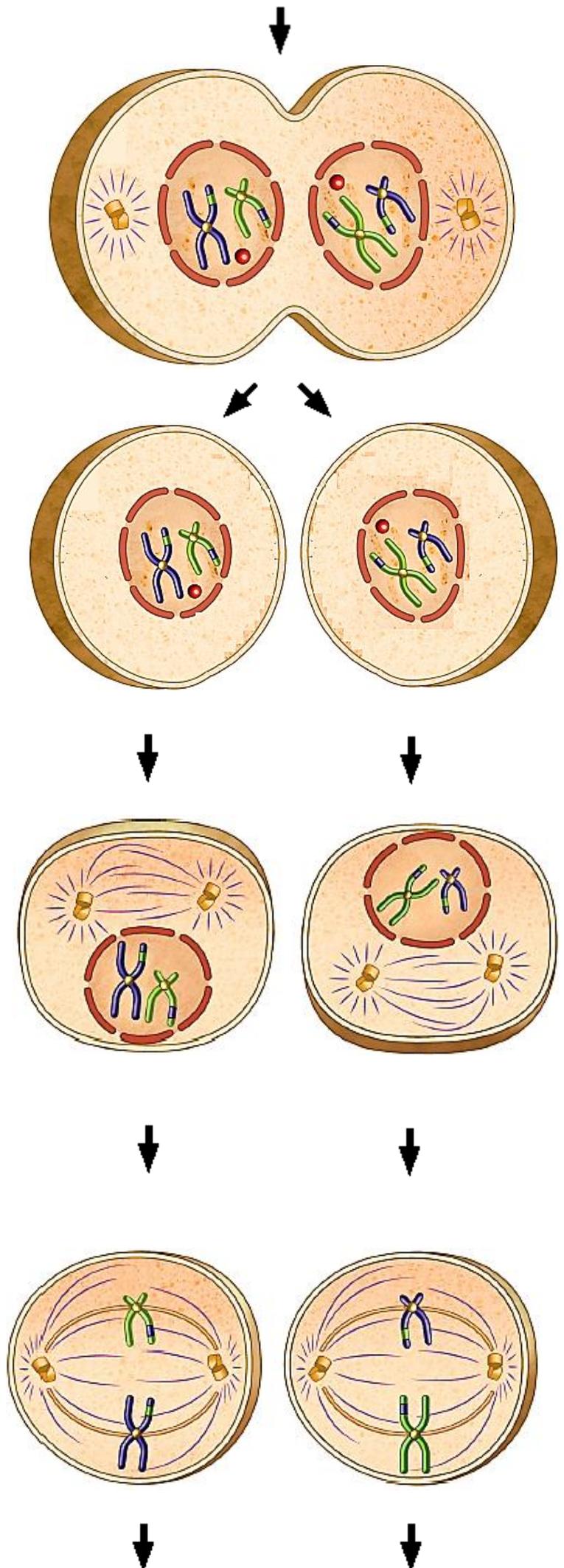
A medida que la cromatina comienza a condensarse, se pueden visualizar los cromosomas dobles. Los centríolos, por su parte, migran hacia los polos y se forma el huso meiótico.

Además, comienzan a desintegrarse la envoltura nuclear y el nucléolo. En esta etapa no hay entrecruzamiento.

## Metafase II

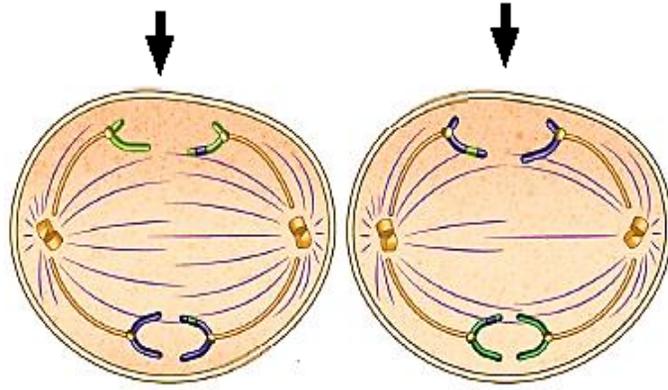
En esta etapa ya no es posible visualizar la envoltura nuclear ni el nucléolo.

En tanto, los cromosomas dobles con porciones de material genético intercambiado se disponen en el ecuador de la célula, sostenidos por las fibras del huso meiótico que se ha unido a los *cinetocoros*.



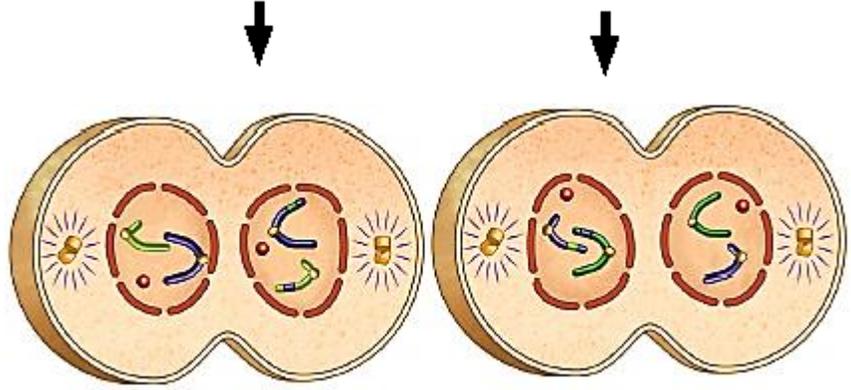
## Anafase II

Al igual que en la mitosis, los cromosomas son arrastrados por el huso hacia los polos, por lo que se acercan hacia los centríolos, y el cromosoma doble se divide, lo que se conoce como **separación de las cromátidas hermanas**.



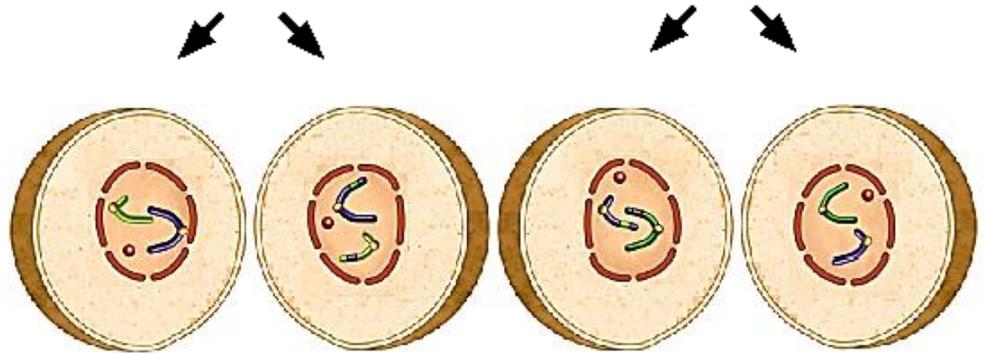
## Telofase II

Los cromosomas simples, generados a partir de la separación de las cromátidas hermanas, se agrupan en ambos polos. Se comienzan a reorganizar la envoltura nuclear y el nucléolo.



## Citocinesis

Finalizando la meiosis a partir de una célula diploide ( $2n$ ) y con  $2c$  de ADN se obtienen cuatro células haploides ( $n$ ) y  $c$  de ADN, que son distintas genéticamente de la célula original y también entre sí.

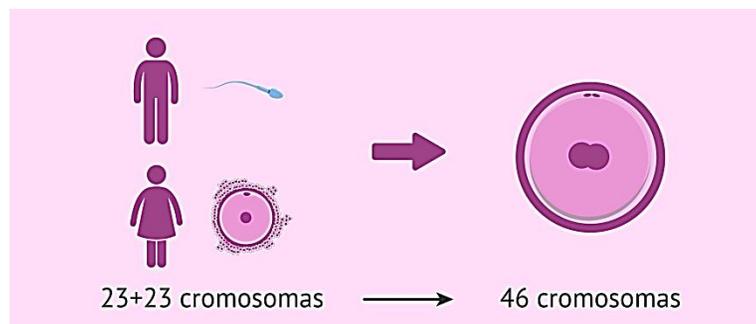


## 2.3. Importancia de la Meiosis

El proceso de meiosis presenta una vital importancia en el ciclo de vida ya que hay una reducción del número de cromosomas a la mitad, es decir, de una célula diploide (ej.: 46 cromosomas en el ser humano) se forman células haploides (23 cromosomas). **Esta reducción a la mitad permite que en la fecundación se mantenga el número de cromosomas de la especie.** Permitiendo la reproducción sexual.

En el ser humano:

$$23 \text{ cromosomas del ovovito} + 23 \text{ cromosomas del espermatozoide} = 46 \text{ cromosomas en el cigoto}$$



Además la meiosis **asegura la variabilidad genética**, dado que el proceso de recombinación del contenido genético permite que los descendientes originados a partir de los gametos conserven gran parte de las características de sus ancestros, pero dando al nuevo individuo un perfil absolutamente único y distintivo. La meiosis produce ejemplares diferentes a sus padres, abriendo la posibilidad de nuevas adaptaciones y relaciones con el entorno biológico.

Los mecanismos que permiten esta variabilidad genética son el **ENTRECRUZAMIENTO o CROSSING-OVER** en la **profase I**, donde se da el intercambio de información genética entre las cromátidas de los cromosomas homólogos, y la **PERMUTACIÓN CROMOSÓMICA**, que se produce en la **metafase I**. Este último mecanismo tiene como consecuencia una **distribución independiente o azarosa** de los cromosomas homólogos en la **anafase I**.

**Nota:** El número de combinaciones posibles por **permutación cromosómica**, se calcula  $2^n$  donde  $n$  es el número de pares de cromosomas homólogos. En el ser humano, que tiene 23 pares de cromosomas homólogos, tiene la posibilidad de recombinación con  $2^{23} = 8.388.608$  combinaciones, sin tener en cuenta las múltiples combinaciones posibilitadas por la recombinación en el crossing-over.

## 2. Anomalías en los cromosomas: “Mutaciones Cromosómicas”

Una **mutación** es todo cambio que afecte al material genético: ADN, cromosomas o cariotipo. Las mutaciones pueden producirse tanto en **células somáticas** como **en células germinales**, pero son heredables solo cuando afectan a las células germinales. Si afectan a las células somáticas, se extinguen por lo general con el individuo. Las mutaciones pueden ser naturales (espontáneas) o inducidas (provocadas por radiaciones, sustancias químicas u otros agentes mutágenos).

Como se dijo anteriormente **las anomalías genéticas pueden transmitirse a la descendencia en el caso de que afecten a las células germinales**. Por este motivo, el estudio de estas mutaciones mediante un cariotipo o un FISH es de gran utilidad para detectar anticipadamente cualquier anomalía.

Se estima que cerca de un 60% de los abortos ocurridos en el primer trimestre de gestación se deben a anomalías cromosómicas y un 0,5% de los recién nacidos presentan aneuploidías.

Existen diversas enfermedades y anomalías cuyo origen se encuentra en **mutaciones** que afectan la **estructura** o el **número de cromosomas** de un organismo. Este tipo de mutaciones, denominadas cromosómicas, pueden ser **estructurales** o **numéricas**.

## 2.1. Mutaciones cromosómicas estructurales

Las **mutaciones cromosómicas estructurales** son aquellas en las que se producen *alteraciones en el tamaño o en la forma de los cromosomas*, ocasionadas por pérdida, duplicación, inversión o translocación de alguno de sus fragmentos.

### Ejemplos:

- **Deleciones:** Consiste en la pérdida de un fragmento del cromosoma.

**EJEMPLO:** Una de las causas del **síndrome de Prader-Willi** es una deleción parcial del brazo largo del **cromosoma 15**.

Los síntomas más comunes del síndrome de Prader-Willi son los problemas de comportamiento, la discapacidad intelectual y la baja estatura. Los síntomas hormonales incluyen el retraso de la pubertad y la sensación de hambre constante que lleva a la obesidad.

- **Duplicaciones:** Consisten en la presencia de una copia extra de un segmento de un cromosoma.

**EJEMPLO:** El **síndrome de X frágil** es debido a una duplicación parcial del extremo del brazo largo del **cromosoma X**.

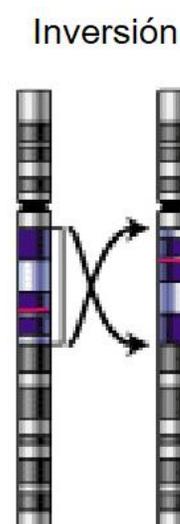
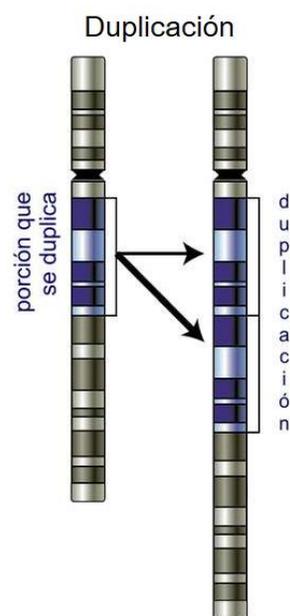
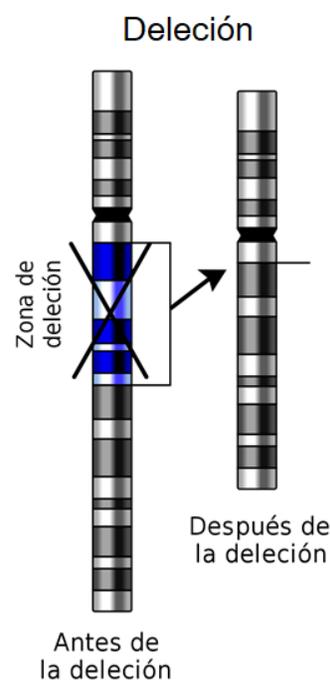
El síndrome del cromosoma X frágil causa discapacidad intelectual moderada a grave. Afecta a mujeres y hombres.

Este síndrome se caracteriza por retrasos en el habla, hiperactividad y ansiedad. Las características físicas incluyen orejas grandes, rostro de forma alargada, mandíbula y frente prominente y pies planos.

- **Inversiones:** Un segmento del cromosoma cambia su orientación ( $180^\circ$ ) dentro de este.

**EJEMPLO:** El **síndrome del Valle de San Luis**, es un trastorno cromosómico complejo debido a la inversión pericéntrica parental del **cromosoma 8**.

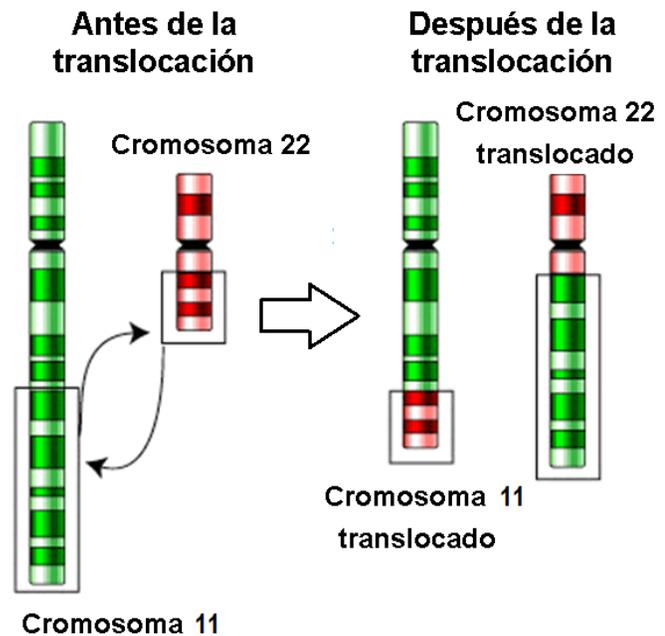
Este síndrome se caracteriza por anomalías cardíacas congénitas importantes, malformaciones urogenitales, déficit intelectual de moderado a grave y dismorfismo craneofacial leve.



- **Translocaciones:** Tienen lugar cuando una porción de un cromosoma se transfiere a otro.

Cuando un segmento se intercambia entre dos cromosomas no homólogos tiene lugar una translocación recíproca. Se produce una reordenación del material genético, pero no hay pérdida o ganancia de información genética como en el caso de las deleciones y las duplicaciones.

**EJEMPLO:** El *síndrome de Emanuel* es causado por la presencia de material genético adicional proveniente de los **cromosomas 11 y 22** en cada célula. Es una translocación balanceada (en que no hay pérdida ni ganancia de material genético) entre los cromosomas 11 y 22.



Algunas de las características de este síndrome son: problemas en el desarrollo físico e intelectual, como, incapacidad intelectual severa, cabeza extremadamente pequeña (microcefalia), disminución del tono muscular (hipotonía), retraso en el desarrollo en la infancia, mandíbula pequeña, anomalías del oído, defectos cardíacos y malformaciones renales,

## 2.2. Mutaciones cromosómicas numéricas

Las **mutaciones cromosómicas numéricas** corresponden a *cambios en el número de cromosomas propios de la especie*. Estas pueden ser de dos tipos: **euploidías** y **aneuploidías**.

### a) Euploidías

Las **euploidías** son alteraciones en las que hay aumento de lotes cromosómicos completos y surgen cuando los cromosomas se duplican y la célula no se divide.

Algunas especies vegetales cultivadas presentan euploidías, como el trigo, con variedades con dos lotes cromosómicos (diploides), con cuatro lotes cromosómicos (tetraploides) y con seis lotes cromosómicos (hexaploides).

De una manera genérica, cuando el número de lotes cromosómicos (genomas) es mayor que 2, se habla de poliploidía.

Las variedades poliploides, en muchos casos, son más productivas que las diploides. Además de aprovechar los casos de poliploidía que surgen espontáneamente en la naturaleza, se pueden inducir euploidías en plantas cultivadas por medio de fármacos como la colchicina, que bloquea la formación del huso durante las divisiones celulares.

## b) Aneuploidías

Las **aneuploidías**, en cambio, corresponden a anomalías que se evidencian en el número de cromosomas de un individuo. Surgen por errores en la distribución de los cromosomas homólogos durante la meiosis, por lo que las células resultantes de este proceso de división anormal, presentan exceso o falta de cromosomas, lo que suele ocasionar trastornos en sus portadores. Las **aneuploidías** más comunes en los seres humanos son las monosomías y trisomías.

Las aneuploidías pueden clasificarse en **aneuploidías autosómicas y aneuploidías sexuales**

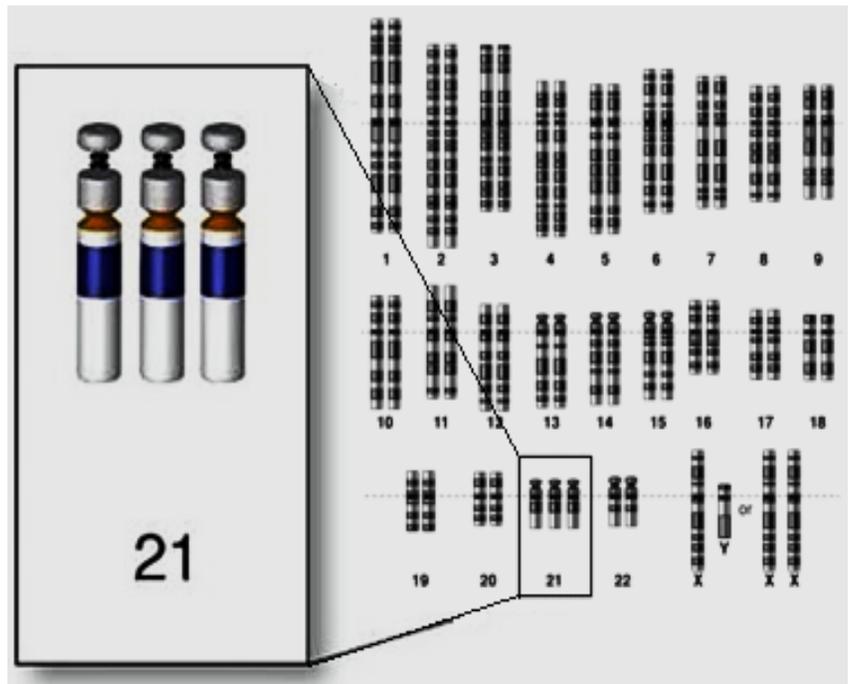
- **Aneuploidías autosómicas**

Son alteraciones en el número de copias de alguno de los cromosomas no sexuales. En humanos, no todas las aneuploidías numéricas son viables, y las que sí lo son producen alteraciones en el fenotipo. Entre las más frecuentes destacan:

- Trisomía del **cromosoma 13**, conocida como **Síndrome de Patau**.
- Trisomía del **cromosoma 18**, conocida como **Síndrome de Edwards**.
- Trisomía del **cromosoma 21**, conocida como **Síndrome de Down**.

**EJEMPLO:** La “Trisomía del cromosoma 21, comúnmente llamada **Síndrome de Down**”, es la más conocida.

Este síndrome es el resultado de un cromosoma 21 adicional. El síndrome incluye rasgos faciales característicos, baja estatura, defectos cardíacos, susceptibilidad a las infecciones respiratorias y retraso mental. Además, estos individuos son propensos a padecer leucemia y enfermedad de Alzheimer. Aunque, en promedio, las personas con síndrome de Down tienen una vida más corta de lo normal, algunos alcanzan la mediana edad o más. La mayoría presenta un desarrollo sexual incompleto y son estériles.



*Trisomía del cromosoma 21*

*Variaciones numéricas en cromosomas claves en el desarrollo temprano del embrión no son viables ni siquiera a nivel embrionario, por lo que no se detectan como causas frecuentes de abortos espontáneos causados por aneuploidías cromosómicas (es el caso del cromosoma 1).*

- **Aneuploidías sexuales**

Son alteraciones en el número de copias de alguno de los dos cromosomas sexuales humanos. Las aneuploidías en este caso suelen ser viables. Entre las más frecuentes destacan:

- *Trisomía de los cromosomas sexuales "47, XXY" conocida como **Síndrome de Klinefelter**.*
- *Trisomía de los cromosomas sexuales "47, XYY" conocida como **Síndrome del doble Y** llamado a veces **síndrome del supermacho**.*
- *Trisomía de los cromosomas sexuales "47, XXX" conocida como **Síndrome del triple X** llamado a veces **síndrome de la superhembra**.*
- *Monosomía de los cromosomas sexuales "45, X" conocida como **Síndrome de Turner**.*

**EJEMPLOS:**

*Trisomía de los cromosomas sexuales "47, XXY" conocida como **Síndrome de Klinefelter**:* Es un trastorno genético que se presenta en los hombres al tener un cromosoma X extra, ya que son XXY. Los síntomas se relacionan con un bajo o nulo desarrollo sexual masculino, causando infertilidad, pene y testículos pequeños, agrandamiento de mamas, estatura alta, proporciones corporales anormales.

*Monosomía de los cromosomas sexuales "45, X" conocida como **Síndrome de Turner**:* Es la única monosomía viable. Es un trastorno genético que se presenta en las niñas y se debe a la presencia de un sólo cromosoma X. Provoca que sean más bajas que el resto y que no maduren sexualmente a medida que alcanzan la edad adulta.

Tabla: Principales alteraciones cromosómicas

Aneuploidías	Nº total de cromosomas	Euploidías	Nº lotes de cromosomas
Nulisomía	(2n-2)	Monoploidía	1n
Monosomía	(2n-1)	Triploidía	3n
Trisomía	(2n+1)	Tetraploidía	4n
Tetrasomía	(2n+2)	Hexaploidía	6n



**QUÉDATE EN CASA. SALVA VIDAS.**

Ayuda a frenar el coronavirus

- 1 **QUÉDATE** en casa lo máximo posible
- 2 **MANTÉN** el distanciamiento social
- 3 **LÁVATE** las manos con frecuencia
- 4 **TOSE** cubriéndote con el codo
- 5 **LLAMA** si tienes síntomas



**ACTIVIDADES:** Lee el enunciado de cada actividad y desarrolla en la guía o cuaderno según corresponda.

Si es necesario vuelve a revisar las guías:

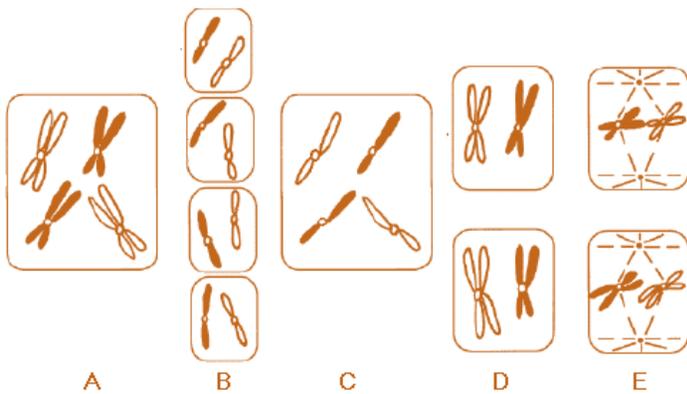
Guía 1: Ubicación y Estructura del ADN

Guía 2: Ciclo Celular "Mitosis"

● **ACTIVIDADES MEIOSIS:**

I.- Realiza un bosquejo del proceso de **meiosis**, rotulando los principales acontecimientos de cada fase.

II.- Ordena la secuencia del proceso de **meiosis** escribiendo las letras en el orden correcto:



1	2	3	4	5

III.- Responda las siguientes preguntas sobre el proceso de **MEIOSIS**:

- a.- ¿En qué etapa de la meiosis se produce la reducción del número de cromosomas?
- b.- ¿Cuáles son los mecanismos que permiten variabilidad genética y en qué fase actúan?
- c.- ¿En qué se diferencia la Anafase I de la Anafase II?
- d.- Explica cuántas combinaciones distintas se obtendrían por permutación cromosómica en una célula con 7 pares de cromosomas homólogos.

IV.- Ordene los siguientes acontecimientos ocurridos durante la meiosis, anteponiendo el número de orden frente a las oraciones.

	Se forman dos células con la mitad del número de cromosomas respecto a la original.
	Los cromosomas se observan difusos.
	Se reconstituye la membrana nuclear y resultan cuatro células con la mitad del número de cromosomas respecto a la original.
	En ambas células los cromosomas se ordenan en el ecuador celular.
	Se produce la combinación de material genético entre las cromátidas de los cromosomas homólogos.
	Se produce la segunda división celular.

V.- Complete las siguientes oraciones de acuerdo a las situaciones planteadas.

1.- Una célula de una especie que tiene **16 pares de cromosomas** entra en **meiosis** por lo tanto:

- a.- Al inicio del proceso la célula presenta \_\_\_\_ cromosomas.
- b.- En la metafase I la célula tiene \_\_\_\_ cromosomas.
- c.- Al término de la telofase I resultan \_\_\_\_ células con \_\_\_\_ cromosomas cada una.

2.- Una célula diploide de una especie que tiene **26 cromosomas** entra en **meiosis** por lo tanto:

- a.- Al iniciarse el proceso la célula presenta \_\_\_\_ cromosomas.
- b.- Al final de la primera división celular resultan \_\_\_\_ con \_\_\_\_ cromosomas cada una.
- c.- En la profase II las células presentan \_\_\_\_ cromosomas.
- d.- Al terminar la telofase de la segunda división resultan \_\_\_\_ células con \_\_\_\_ cromosomas cada una.

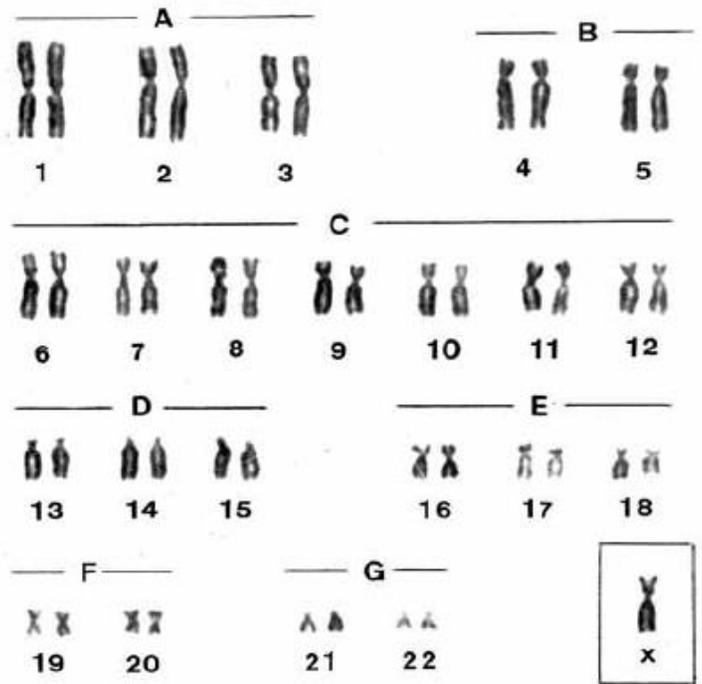
VI.- Completa la siguiente tabla comparativa entre Mitosis y Meiosis.

Característica	Mitosis	Meiosis
Tipo de célula en la que ocurre		
Numero de divisiones celulares		
¿Ocurre variabilidad genética?		
Duración		
Cuántas células hijas se generan al final del proceso, cuál es su número de cromosomas y su cantidad de ADN representados en n y c		
Finalidad		

VII.- ¿Cómo se transmite el ADN durante la división celular?

## • ACTIVIDADES ANOMALÍAS EN LOS CROMOSOMAS:

1.- A continuación se muestra el cariotipo de una persona que padece síndrome de Turner. Observa sus cromosomas y compáralos con el cariotipo normal de su sexo (guía 1, página 10)



- ¿Cuál es el sexo de esta persona?
- ¿Qué diferencia observas entre el cariotipo de una persona normal y el de una persona que padece el síndrome de Turner?
- Averigua acerca de algunas características fenotípicas de las personas que padecen esta enfermedad.

2.- Completa la tabla con el número de cromosomas de la especie, número diploide o haploide, según corresponda

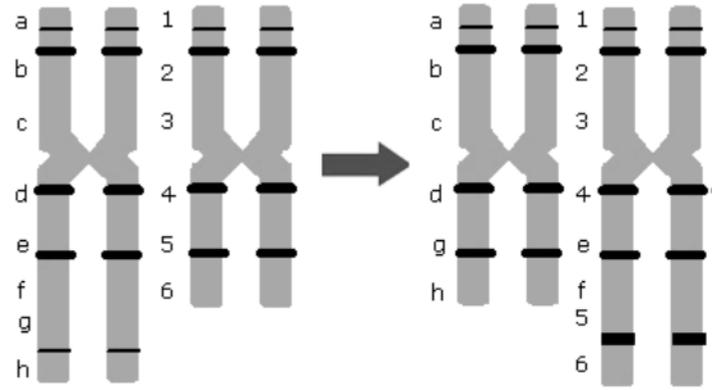
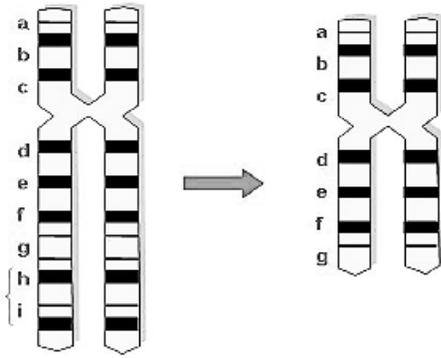
Especie	Número de cromosomas por especie	Número haploide (n)	Número diploide (2n)
Perro	78		
Caballo			64
Vaca		30	
Gorila			48
Ser humano	46		
Ballena	44		
Ratón			42
Gato	38		
Sapo		13	
Papa	48		
Tomate		12	
Poroto			24
Arvejas		7	
Mosca de la fruta			8

3.- En relación a la tabla anterior, responde:

- ¿Existe alguna relación entre el tamaño de las especies y el número de cromosomas? Justifica tu respuesta.
- Si las plantas se originaron hace unos 500 millones de años, los insectos hace unos 400 millones y los mamíferos hace 245 millones, ¿existirá alguna relación entre la antigüedad de cada grupo de especies y su número de cromosomas?, ¿por qué?
- ¿Sería correcto decir que un perro es más complejo que una ballena porque tiene mayor número de cromosomas? Explica.

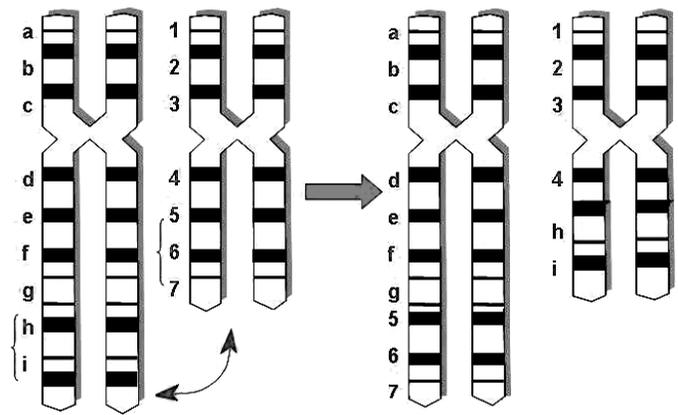
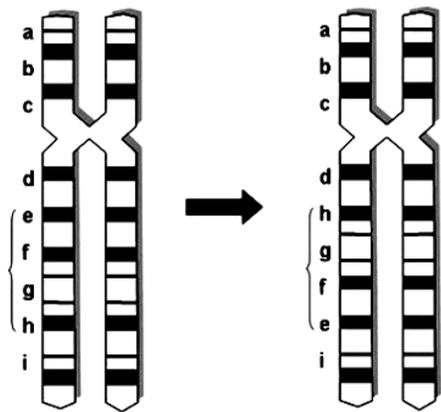
4.- ¡Recuerda qué es un gen!... describe su función.

5.- Reconoce a qué tipo de mutación estructural corresponde cada imagen.



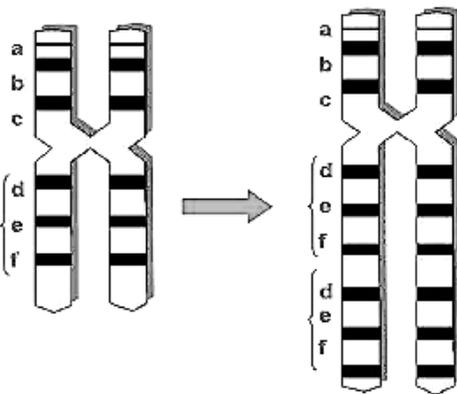
→

→



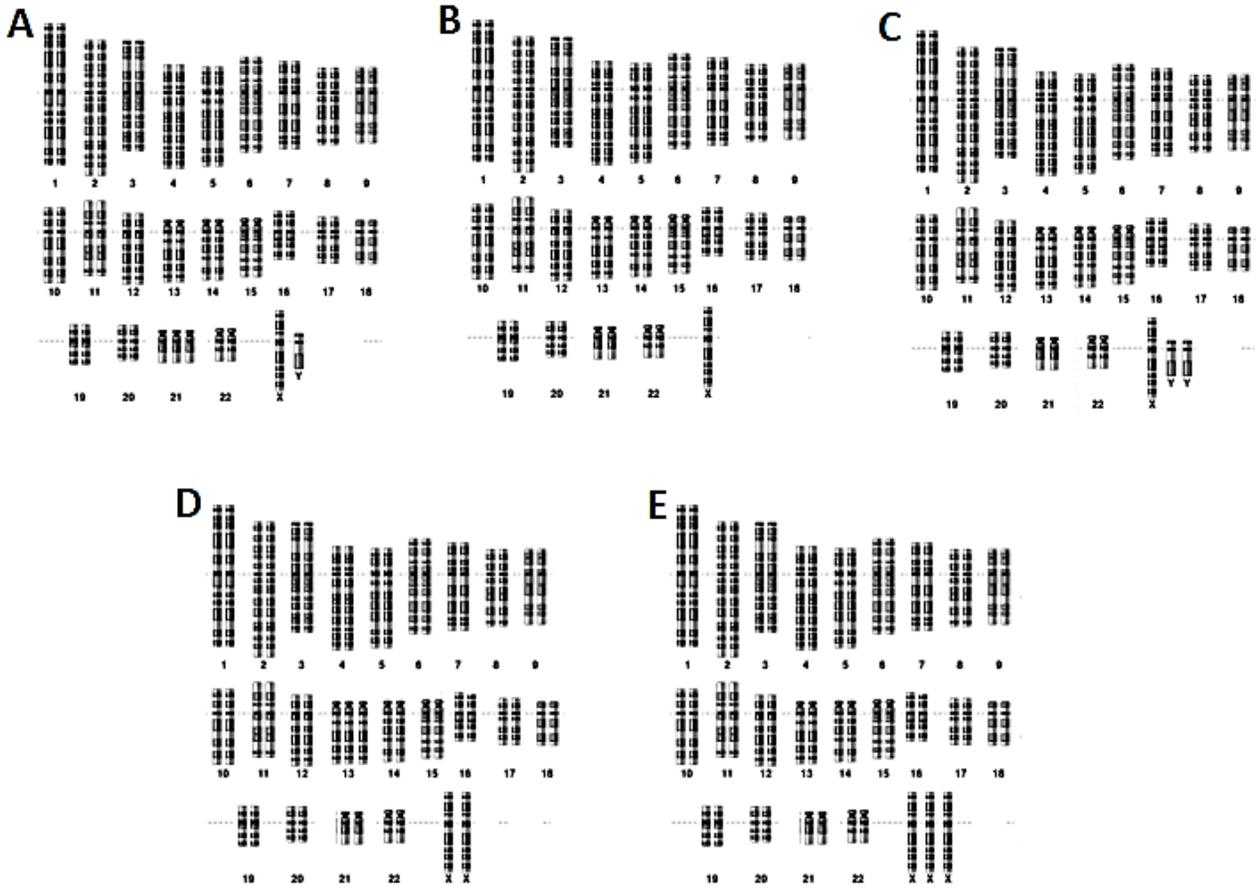
→

→



→

6.- Observa las siguientes imágenes e identifica que síndrome posee cada uno de los cariotipos representados.



- A.- .....
- B.- .....
- C.- .....
- D.- .....
- E.- .....

7.- Lee y responde “Las variedades poliploides, en muchos casos, son más productivas en que las diploides. Además de aprovechar los casos de poliploidía que surgen espontáneamente en la naturaleza, se pueden inducir euploidías en plantas cultivadas por medio de fármacos como la **colchicina**, que bloquea la formación del huso durante las divisiones celulares. ¿Cómo describirías el efecto de la colchicina y cuál sería su benéfico en la agricultura?”