Ciclo celular, mitosis, meiosis y cáncer

Test de 10 preguntas y flashcards de este tema en farmeandopau.com ›

Última revisión: 25 de octubre de 2026.

Escanea y haz el test del tema

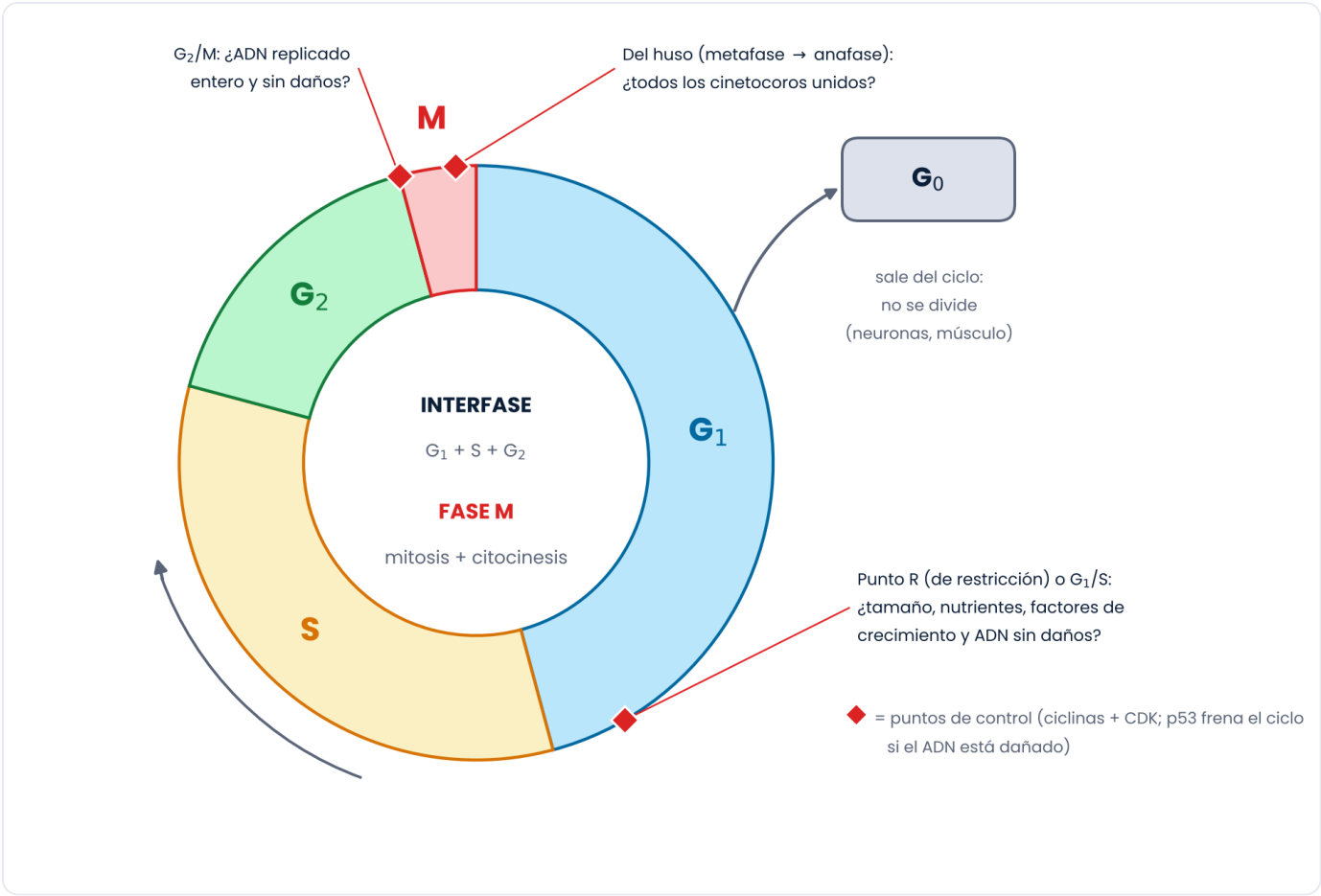
LA IDEA EN 30 SEGUNDOS

Una célula eucariota vive un **ciclo celular**: **interfase** (G_1, **S**, en la que se replica el ADN, y G_2) y **fase M** (**mitosis** + **citocinesis**). Lo regulan **ciclinas y CDK** y unos **puntos de control** (punto R, G_2/M, del huso) con **p53** de guardián. La **mitosis** da dos células idénticas a la madre; la **meiosis**, dos divisiones seguidas tras una sola replicación, da **cuatro células haploides distintas** gracias al **sobrecruzamiento** y al **reparto al azar** de los homólogos. Cuando las mutaciones estropean el control (**oncogenes**, **genes supresores**), las células se dividen sin freno: **cáncer**.

1 El ciclo celular y sus fases

El **ciclo celular** es el conjunto ordenado de procesos por los que pasa una célula desde que se forma, por división de otra, hasta que se divide en dos. Tiene dos etapas: la **interfase**, larga, en la que la célula crece y copia su ADN, y la **fase M** o de división, corta.

- **G_1** (del inglés *gap*, intervalo): la célula **crece**, fabrica proteínas, ARN y orgánulos. Es la fase más variable en duración. Al final está el **punto R** (de restricción): si lo supera, la célula ya se dividirá.
- **G_0**: estado de reposo fuera del ciclo. Las células que no se dividen (**neuronas**, fibras musculares) se quedan en G_0; otras, como los hepatocitos, pueden volver al ciclo si hace falta reparar el tejido.
- **S** (síntesis): se **replica el ADN** (lo ves en el Tema 15) y se fabrican las histonas. Cada cromosoma pasa de **una cromátida** a **dos cromátidas hermanas** unidas por el centrómero. En las células animales también empieza a duplicarse el **centrosoma**.
- **G_2**: la célula sigue creciendo, comprueba que el ADN está completo y sin daños y se prepara para dividirse.
- **Fase M**: **mitosis** o **cariocinesis** (división del núcleo) y **citocinesis** (división del citoplasma).
- **Cantidad de ADN**: llamamos **C** a la cantidad de ADN de un juego haploide sin replicar. Una célula 2n tiene **2C en G_1**, pasa a **4C** durante la fase S, sigue con **4C en G_2** y vuelve a **2C** en cada hija tras la citocinesis.
- Duración orientativa en una célula humana que prolifera deprisa (unas **24 h**): G_1 unas 11 h, S unas 8 h, G_2 unas 4 h y M cerca de **1 h** (Cooper). Por eso en un tejido casi todas las células que ves están en interfase.



El ciclo celular. Interfase (G_1, S y G_2) y fase M, con el tamaño de cada sector proporcional a su duración típica en una célula humana de ciclo de 24 h. Los rombos rojos son los tres **puntos de control** principales; de G_1 puede salir la célula a **G_0**.

2 Cómo se regula el ciclo: ciclinas, CDK, puntos de control y apoptosis

El ciclo no avanza solo: lo empujan unas proteínas y lo frenan otras. Entenderlo bien es la base del cáncer.

- Los motores son las **CDK** (quinasas dependientes de ciclinas): enzimas que **fosforilan** otras proteínas. Su cantidad es constante, pero **solo son activas unidas a una ciclina**.
- Las **ciclinas** se fabrican y se **degradan** en momentos concretos del ciclo (por eso se llaman así). Cada complejo **ciclina-CDK** dispara una etapa: entrada en S, entrada en mitosis, etc.
- **Puntos de control**: momentos en que la célula comprueba que todo está bien antes de seguir. **Punto R o G_1/S** (tamaño, nutrientes, **factores de crecimiento**, ADN sin daños), **G_2/M** (ADN replicado entero y sin daños) y **punto de control del huso** (metafase → anafase: todos los cinetocoros unidos a fibras del huso).
- Los **factores de crecimiento** son señales externas (proteínas) que se unen a receptores de la membrana y ponen en marcha la entrada en el ciclo. Sin ellos, la célula normal se queda en G_1 o G_0.
- La proteína **p53** (gen *TP53*) se activa cuando el **ADN está dañado**: **detiene el ciclo** para que se repare y, si el daño no tiene arreglo, provoca la **apoptosis**. Por eso la llaman «guardiana del genoma».
- El descubrimiento de estos reguladores valió el **Nobel de Fisiología o Medicina de 2001** a **Leland Hartwell** (genes del ciclo en levadura y concepto de punto de control), **Paul Nurse** (el gen *cdc2*, la

CDK1) y **Tim Hunt** (las ciclinas, en huevos de erizo de mar).

Apoptosis

Muerte celular **programada** y ordenada: la célula se encoge, fragmenta su ADN y se rompe en **cuerpos apoptóticos** que fagocitan los macrófagos, **sin inflamación**. Elimina células dañadas o sobrantes (los dedos se separan en el embrión por apoptosis).

Necrosis

Muerte **accidental** por una lesión (golpe, falta de riego, tóxico): la célula se hincha, revienta y vierte su contenido, lo que **provoca inflamación**.

PREGUNTA RESUELTA

Cantabria · PAU 2026 extraordinaria · Pregunta 7 (1,25 puntos). «a) Dibuje una gráfica en la que represente el contenido en ADN de una célula a lo largo de un ciclo celular, e indique en ella las fases G_1, S, G_2 y M (0,5 puntos). b) Describa brevemente dichas fases G_1, S, G_2 y M, indicando los principales puntos de control y la función de dichos puntos de control (0,5 puntos). c) Explique cómo alteraciones en el ciclo celular pueden originar cáncer (0,25 puntos).»

Respuesta modelo

a) Eje X: tiempo; eje Y: cantidad de ADN por célula. Tramo horizontal a **2C** en **G_1**; rampa de 2C a **4C** en **S**; tramo horizontal a **4C** en **G_2** y durante la mitosis (**M**); caída brusca a **2C** al final de M (citocinesis), cuando el ADN se reparte entre las dos células hijas. (Es la gráfica de la izquierda de la figura de la sección «Gráficas de ADN».)

b) **G_1**: la célula crece y sintetiza proteínas y orgánulos. **S**: se replica el ADN y cada cromosoma pasa a tener dos cromátidas. **G_2**: sigue creciendo y se prepara para la división. **M**: mitosis (reparto del material genético) y citocinesis (división del citoplasma). Los puntos de control principales son el **punto R o G_1/S**, el **G_2/M** y el **del huso** (paso de metafase a anafase). Su función es **detener el ciclo** si algo va mal (ADN dañado o sin replicar entero, cromosomas mal unidos al huso, falta de nutrientes o de factores de crecimiento) para que se corrija o, si no es posible, la célula muera por **apoptosis**.

c) Si una mutación altera los genes que controlan el ciclo (protooncogenes que pasan a **oncogenes** o **genes supresores** como *TP53* que dejan de funcionar), la célula se divide **sin control** aunque tenga el ADN dañado; acumula más mutaciones y forma un **tumor**.

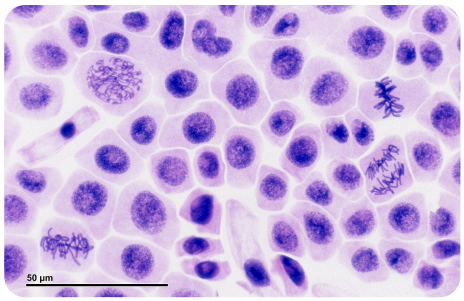
Por qué puntúa. El criterio de Cantabria da 0,5 por la gráfica con las **cuatro fases bien situadas**, 0,1 por cada fase descrita más 0,1 por la **función conjunta de los puntos de control**, y 0,25 por relacionar el cáncer con la **proliferación descontrolada**. Rotula los ejes y escribe 2C y 4C.

Cuánto te piden de regulación

Murcia solo pide el **punto R** («no es necesario explicar los puntos de control, excepto el punto R»). **Extremadura**, **Cataluña** y **Baleares** piden ciclinas, CDK y puntos de control; **Cataluña**, además, interpretar gráficas de ciclinas y de p53. En las demás basta con saber que existen puntos de control y para qué sirven.

3 La mitosis y la citocinesis

La **mitosis** reparte el ADN ya replicado en dos núcleos con la **misma información genética** que la célula madre. Es un proceso continuo, pero se divide en fases para estudiarlo. En los exámenes se usan cuatro (profase, metafase, anafase y telofase); algunos libros añaden la **prometafase**.



Meristemo de raíz de cebolla (*Allium cepa*) aplastado y teñido, con células en profase, metafase, anafase y telofase. Microscopio óptico de campo claro. Es la preparación clásica del laboratorio; en Navarra (2025) salió una micrografía de un tejido con células en distintas fases. Foto: Josef Reischig, CC BY-SA 3.0.

- **Significado biológico**: en los **unicelulares** eucariotas, la mitosis es **reproducción asexual**; en los **pluricelulares**, sirve para el **crecimiento** (del cigoto a billones de células), la **renovación** de tejidos (piel, sangre, mucosa intestinal) y la **reparación** de heridas. Conserva la información genética: las hijas son **genéticamente idénticas** a la madre.
- Las **células animales** forman el huso a partir de los **centrosomas** (con sus centriolos y **ásteres**); las **vegetales** no tienen centriolos y forman un huso sin ásteres (**anastral**).
- La **colchicina** impide que la tubulina polimerice: sin microtúbulos no hay huso y la mitosis se **detiene en metafase**. Por eso se usa para obtener cariotipos (sale en Andalucía y Murcia).
- Las **procariotas** no hacen mitosis: replican su cromosoma circular y se dividen por **bipartición** (fisión binaria), sin huso ni condensación (Murcia pide esta diferencia).
- **Citocinesis** (división del citoplasma): empieza al final de la anafase o en la telofase y es distinta en animales y vegetales porque la célula vegetal tiene **pared**.

1 Profase

La cromatina se **condensa** y se ven los cromosomas, cada uno con **dos cromátidas** unidas por el centrómero. Desaparece el **nucléolo**. Los dos **centrosomas** se separan hacia los polos y empieza a formarse el **huso mitótico** (microtúbulos). Al final se rompe la **envoltura nuclear** (en la prometafase, si se distingue) y los microtúbulos se unen a los **cinetocoros**.

2 Metafase

Los cromosomas, con su máxima condensación, se alinean en el **plano ecuatorial** formando la **placa metafásica**. Cada cromosoma tiene sus dos cinetocoros unidos a fibras de polos opuestos. Es el mejor momento para contar cromosomas y hacer un **cariotipo**.

3 Anafase

Se separan las **cromátidas hermanas** (cada una es ya un cromosoma con una cromátida) y los microtúbulos que tiran de los cinetocoros se acortan y las llevan a **polos opuestos**. Es la fase más corta.

4 Telofase

Llega un juego completo de cromosomas a cada polo. Los cromosomas se **descondensan**, se forma de nuevo la **envoltura nuclear** alrededor de cada juego y reaparecen los **nucléolos**. Desaparece el huso. Suele solaparse con la citocinesis.

Célula animal

por estrangulamiento

- Se forma un **anillo contráctil** de **actina y miosina** bajo la membrana, en el plano ecuatorial.
- El anillo se cierra y forma un **surco de división** que estrangula la célula.
- Al final quedan **dos células** separadas por su membrana.

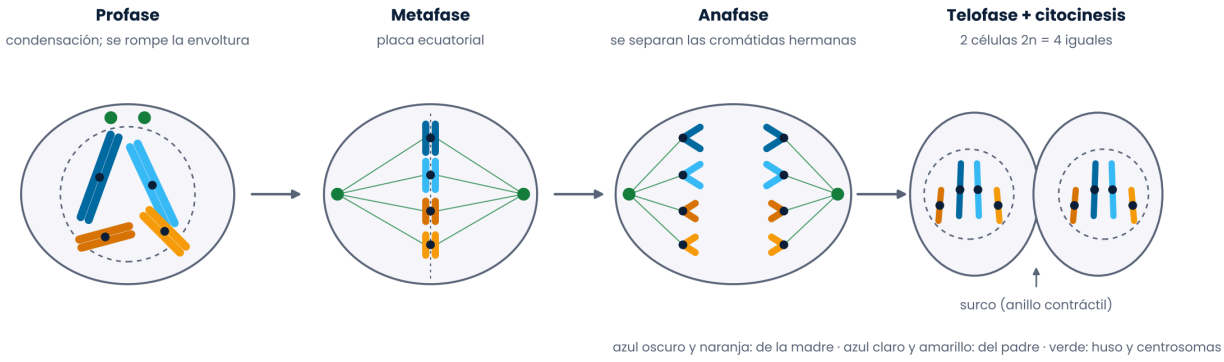
Célula vegetal

por tabicación

- En el ecuador se forma el **fragmoplasto**: microtúbulos que guían **vesículas del aparato de Golgi** cargadas de polisacáridos de la pared.
- Las vesículas se fusionan y forman la **placa celular** (de dentro hacia fuera), que acaba en la **lámina media** y la nueva **pared**.
- Quedan comunicadas por **plasmodesmos**.

Lo que da el punto

En la vegetal, nombra **fragmoplasto** y **vesículas del Golgi**; en la animal, **anillo contráctil de actina (y miosina)** y **surco**. Así lo pide el criterio de Madrid (2026 extraordinaria) y el de la Comunitat Valenciana (2026 extraordinaria).



Mitosis de una célula animal 2n = 4. Dos pares de homólogos: largo (azul oscuro, de la madre; azul claro, del padre) y corto (naranja y amarillo). En metafase, cada cromosoma tiene dos cromátidas; en anafase se separan las cromátidas hermanas; cada hija recibe los **cuatro** cromosomas.

4 La meiosis y la variabilidad genética

La **meiosis** es una división especial de las células **diploides** de la **línea germinal** (en los animales, en las gónadas). Tras **una sola replicación** del ADN hay **dos divisiones seguidas**, de modo que una célula 2n da **cuatro células haploides (n)** genéticamente **distintas**. Sin ella, el número de cromosomas se duplicaría en cada fecundación.

- La **meiosis I** es **reduccional** (de 2n a n: se separan homólogos); la **meiosis II** es **ecuacional** (se mantiene n: se separan cromátidas).
- Subfases de la profase I: **leptoteno** (condensación), **cigoteno** (sinapsis, con el **complejo sinaptonémico**), **paquiteno** (sobrecruzamiento), **diploteno** (los homólogos se separan salvo en los quiasmas) y **diacinesis** (máxima condensación). **Madrid** y **Andalucía** dicen expresamente que **no** hace falta saber estos nombres; **Castilla-La Mancha** sí los ha preguntado, y **Cantabria** ha pedido las subfases de la profase I.
- En la **ovogénesis** humana, la meiosis I se detiene en la profase I (diploteno) antes del nacimiento y solo se reanuda, poco antes de la ovulación, en el ovocito que va a ovular; este se detiene de nuevo en la metafase II, que se completa solo si hay **fecundación**. Por eso de un ovocito sale **un óvulo** y corpúsculos polares, no cuatro gametos.

- **Sobrecruzamiento** (recombinación génica, **profase I**): las cromátidas no hermanas de los homólogos intercambian fragmentos y aparecen **combinaciones nuevas de alelos** en un mismo cromosoma.
- **Segregación independiente** (reparto al azar) de los homólogos en la **metafase-anafase I**: cada pareja se orienta al azar, así que cada gameto recibe una mezcla distinta de cromosomas maternos y paternos. Con n pares hay **2^n combinaciones**; en la especie humana (n = 23), **2^{23} = 8 388 608** gametos distintos sin contar el sobrecruzamiento. En la anafase II también se reparten al azar las cromátidas, que ya no son idénticas si hubo sobrecruzamiento.
- **Fecundación**: la unión al azar de dos gametos distintos multiplica las combinaciones.
- **Significado biológico** de la meiosis: **mantiene constante el número de cromosomas** de la especie generación tras generación (los gametos n se unen y devuelven el 2n) y produce **variabilidad genética**, la materia prima sobre la que actúa la **selección natural** y, por tanto, la **evolución** (lo amplías en el Tema 17).

1 Profase I

Larga y clave. Los cromosomas se condensan y los **homólogos se aparean** punto por punto (**sinapsis**): cada pareja es un **bivalente** o **tétrada** (dos cromosomas, cuatro cromátidas). Entre cromátidas **no hermanas** hay **sobrecruzamiento** (*crossing-over*): intercambian fragmentos y se ven los **quiasmas**. Se rompe la envoltura nuclear.

2 Metafase I

Los **bivalentes** se colocan en la placa ecuatorial: cada **homólogo** mira a un polo. La orientación de cada pareja es **al azar** e independiente de las demás.

3 Anafase I

Se separan los **cromosomas homólogos** (cada uno sigue con **dos cromátidas**) y van a polos opuestos. Aquí se **reduce a la mitad** el número de cromosomas.

4 Telofase I y citocinesis

Se forman **dos células haploides** (n), cada cromosoma con dos cromátidas. Puede haber una intercinesis breve, **sin replicación**.

5 Meiosis II

Es como una **mitosis** de cada célula haploide: **profase II**, **metafase II** (cromosomas solos, sin homólogos, en la placa), **anafase II** (se separan las **cromátidas hermanas**) y **telofase II**. Resultado: **cuatro células n** con cromosomas de una cromátida.

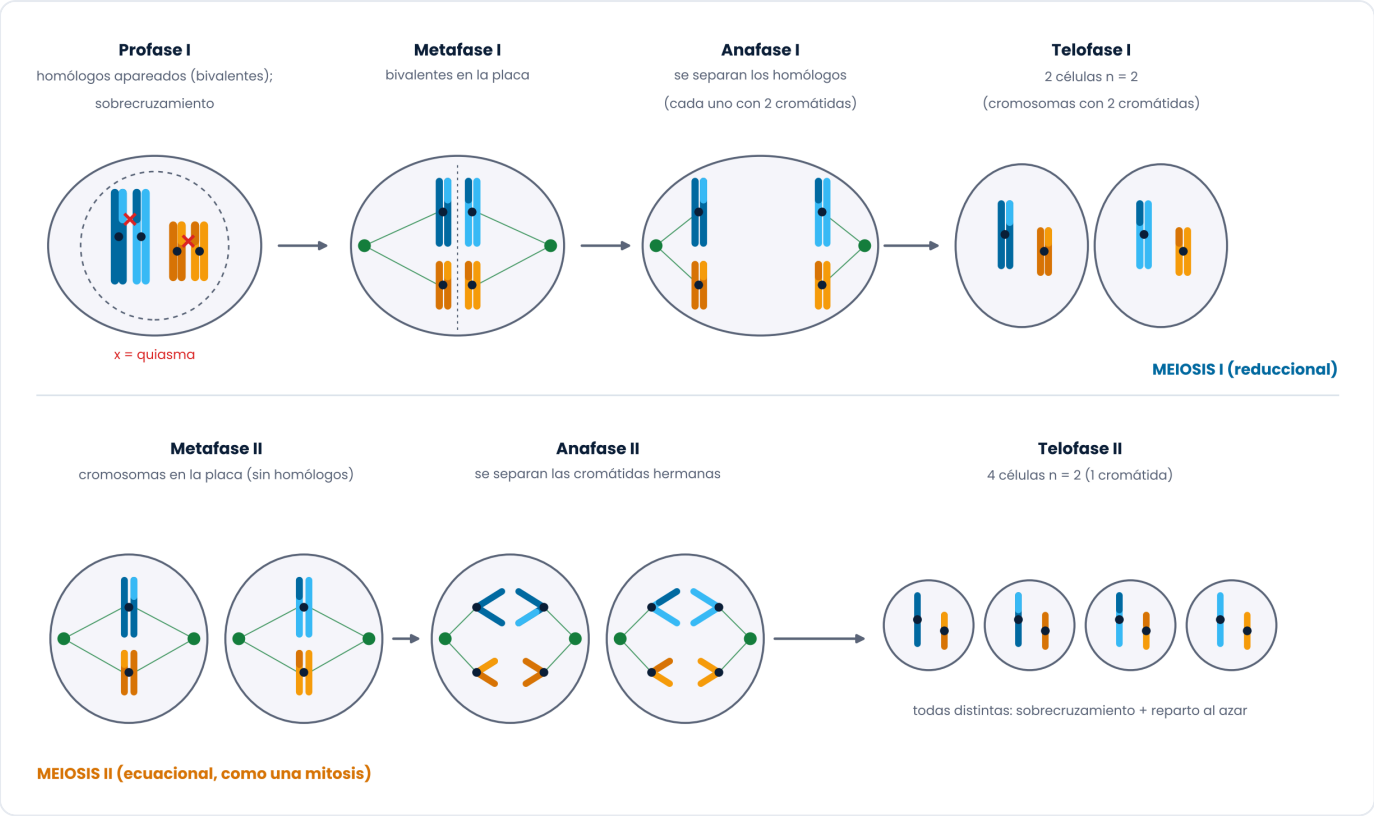
PREGUNTA RESUELTA

Galicia · PAU 2025 extraordinaria · 2.2.1 B. «A lo largo de su vida fértil, los ovarios de una mujer liberarán unos 400 oocitos, todos ellos con información genética diferente. Explique el papel de la meiosis en este hecho.»

Respuesta modelo

Los ovocitos se forman por **meiosis**, y la meiosis produce células haploides **genéticamente distintas** por dos mecanismos. En la **profase I**, los cromosomas homólogos (uno de origen materno y otro paterno) se aparean y se produce el **sobrecruzamiento**: sus cromátidas no hermanas intercambian fragmentos, lo que crea **combinaciones nuevas de alelos**. En la **metafase I y la anafase I**, cada pareja de homólogos se orienta y se separa **al azar** e independientemente de las demás (**segregación independiente**): con 23 pares hay 2^{23} (más de 8 millones) combinaciones posibles de cromosomas. Por eso es prácticamente imposible que dos de los 400 ovocitos lleven la misma información genética.

Por qué puntúa. Hay que nombrar los **dos procesos** (sobrecruzamiento y segregación al azar de los homólogos) y **la fase** en que ocurre cada uno. Decir solo «la meiosis da variabilidad» no puntúa.



Meiosis de una célula 2n = 4. Arriba, meiosis I: bivalentes con un **quiasma** (x roja) en cada par, separación de **homólogos** y dos células n = 2 con cromosomas de dos cromátidas. Abajo, meiosis II: separación de **cromátidas**. Las cuatro células finales son todas distintas por el sobrecruzamiento (trozos de otro color) y el reparto al azar.

5 Mitosis frente a meiosis y cómo reconocer cada fase en un dibujo

- **Metafase de mitosis**: cromosomas **sueltos** en la placa, en una sola fila; en una célula 2n = 4 ves **4 cromosomas** de dos cromátidas.
- **Metafase I**: **parejas** de homólogos (bivalentes) en la placa, uno a cada lado; ves **2 bivalentes** (4 cromosomas, 8 cromátidas).
- **Metafase II**: cromosomas sueltos en la placa pero **solo la mitad** (en 2n = 4, **2 cromosomas** de dos cromátidas) y **sin homólogos**: los dos son distintos.
- **Anafase de mitosis**: viajan a cada polo **4 cromosomas de una cromátida** (en 2n = 4). **Anafase I**: viajan a cada polo **2 cromosomas de dos cromátidas** y no hay homólogos en el mismo polo. **Anafase II**: viajan **2 cromosomas de una cromátida** a cada polo.
- Truco: si a cada polo van **parejas de homólogos** (en 2n = 4, dos largos y dos cortos) de una cromátida, es **mitosis**; si va **un cromosoma de cada tipo** de una cromátida, **anafase II**; si los cromosomas que van a cada polo **tienen dos cromátidas**, **anafase I**.

Ciclo haplonte

El adulto es **haploide**; solo el cigoto es 2n y hace meiosis enseguida (**meiosis cigótica**). Muchas algas y hongos.

Ciclo diplonte

El adulto es **diploide**; solo los gametos son n (**meiosis gamética**). Animales, incluido el ser humano.

Ciclo haplodiplonte

Alternancia de generaciones: un **esporofito** 2n hace meiosis y da esporas n (**meiosis espórica**), que crecen como **gametofito** n. Plantas (musgos, helechos, plantas con semilla).

	Mitosis	Meiosis
Células que la hacen	Somáticas (y unicelulares eucariotas)	De la línea germinal (en las gónadas de los animales)
Divisiones tras una replicación	Una	Dos (meiosis I y II)
Células resultantes	2, diploides (2n) si la madre es 2n	4, haploides (n)
Información genética	Idéntica a la de la madre	Distinta entre ellas y de la madre
Homólogos	No se aparean: cada cromosoma va por su cuenta	Se aparean (bivalentes) y se separan en la anafase I
Sobrecruzamiento	No	Sí (profase I)
Función	Crecimiento, renovación, reparación; reproducción asexual	Formar gametos (o esporas); reproducción sexual y variabilidad

La pareja de preguntas «número de divisiones, de células hijas y de cromosomas» y «comportamiento de los homólogos» sale tal cual en Castilla y León (2026 extraordinaria).

6 Gráficas de ADN por célula

Es una de las figuras que más salen (Aragón, Asturias, Canarias, Castilla-La Mancha, Castilla y León, Galicia, Murcia, Cantabria): te dan la gráfica y tienes que decir si es mitosis o meiosis, nombrar los tramos y explicar cada subida y bajada.

- La **subida** de 2C a 4C es una **rampa** (no un salto): es la **fase S**, porque la replicación tarda horas.
- Las **bajadas** suelen dibujarse como **escalones**: ocurren al final de una división, cuando el ADN se reparte entre dos células. Algunos exámenes las dibujan como una pendiente corta (Murcia 2026); se interpretan igual.
- **Mitosis**: una subida (2C → 4C) y **una** bajada (4C → 2C). **Meiosis**: una subida y **dos** bajadas (4C → 2C al final de la **meiosis I**, por separarse los **homólogos**; 2C → 1C al final de la **meiosis II**, por separarse las **cromátidas**).
- Si la gráfica acaba en **1C** (la mitad de lo que había en G_1), las células son **haploides**: gametos o esporas. Una célula en G_0 se queda en 2C para siempre.

MURCIA · PAU 2026 EXTRAORDINARIA (JULIO) · PREGUNTA 1 (OBLIGATORIA Y COMPETENCIAL, 2 PUNTOS)

BIOLOGÍA CELULAR: En un experimento se mide la cantidad de ADN de una célula de ratón a lo largo de un periodo de tiempo; los resultados obtenidos se muestran en la siguiente gráfica:

[Figura: gráfica de «Contenido de ADN» (eje Y, de 1 a 4) frente al «Tiempo», dividida en siete periodos numerados. Periodo 1: valor constante 2. Periodo 2: sube en rampa de 2 a 4. Periodo 3: constante en 4. Periodo 4: baja en una pendiente corta de 4 a 2. Periodo 5: constante en 2. Periodo 6: baja en una pendiente corta de 2 a 1. Periodo 7: constante en 1.]

A) ¿Qué proceso se ha llevado a cabo en esta célula? (0,2 puntos)

B) Describa las variaciones en el contenido de ADN en los periodos de tiempo representados con los números 4 y 6 y explique a qué son debidas. (1 punto)

C) Describa la variación en la cantidad de ADN en el periodo de tiempo 2, explique a qué se debe dicha variación y nombre la fase del ciclo a la que corresponde. (0,6 puntos)

D) ¿En qué tipo de célula de ratón se ha medido la cantidad de ADN? (0,2 puntos)

Apartado A)

1. Cuenta las bajadas: hay **dos** (periodos 4 y 6) tras una sola subida (periodo 2).
2. Además, al final la célula tiene **la mitad** del ADN que al principio (1 frente a 2): las células resultantes son haploides.

SOLUCIÓN Es una **meiosis** (precedida de su interfase).

Apartado B)

1. Periodo 4: el ADN **baja a la mitad**, de 4 a 2. Es el final de la **meiosis I**: en la anafase I se separan los **cromosomas homólogos** (cada uno con dos cromátidas) y con la citocinesis cada célula hija se queda con la mitad.
2. Periodo 6: el ADN vuelve a **bajar a la mitad**, de 2 a 1. Es el final de la **meiosis II**: en la anafase II se separan las **cromátidas hermanas** y con la citocinesis cada célula recibe una de ellas.

SOLUCIÓN 4: reducción a la mitad por la **separación de homólogos** (meiosis I). 6: reducción a la mitad por la **separación de cromátidas hermanas** (meiosis II).

Apartado C)

1. En el periodo 2 la cantidad de ADN **se duplica** poco a poco (de 2 a 4).
2. Se debe a la **replicación** semiconservativa del ADN: cada cromosoma pasa de una a dos cromátidas.
3. Ocurre en la **fase S** de la interfase.

SOLUCIÓN Duplicación del ADN por **replicación** en la **fase S** de la interfase.

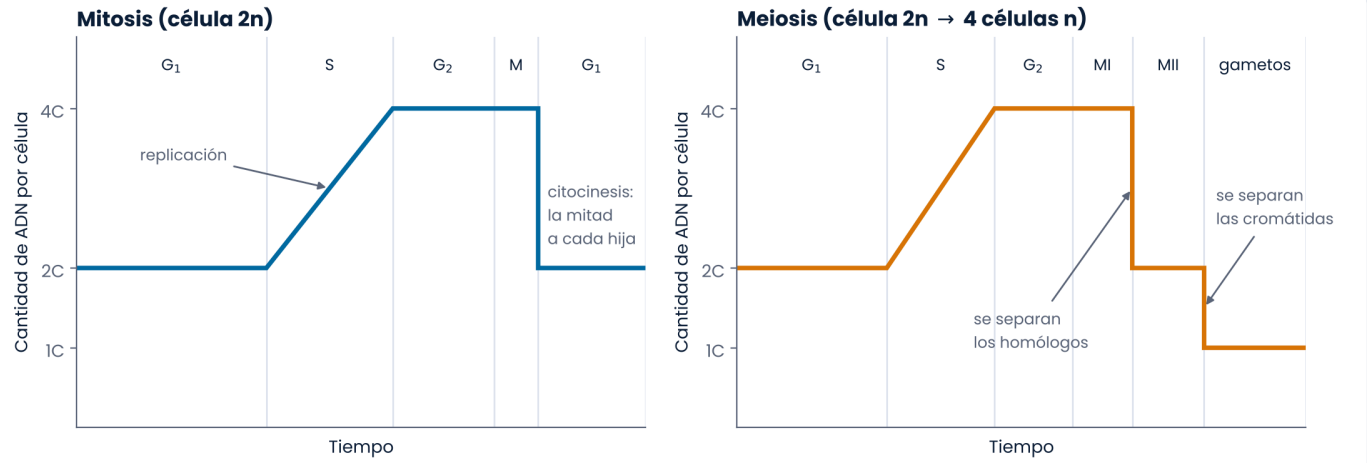
Apartado D)

1. Solo hacen meiosis las células de la **línea germinal** de las gónadas.
2. En el ratón (animal), la meiosis forma los gametos.

SOLUCIÓN En una **célula germinal** (espermatocito u ovocito, precursor de los gametos) del testículo o del ovario.

Lo que puntúa. El criterio oficial de Murcia valora explicar «la disminución de la cantidad de ADN a la mitad tras la primera división meiótica, por segregación de cromosomas homólogos, y tras la segunda división meiótica, por segregación de cromátidas hermanas» y «la duplicación de la cantidad de ADN en la fase S de la interfase, debido a la replicación del material genético». La valoración es proporcional a la precisión.

Error típico que te quita puntos. Decir que en el periodo 4 «se separan las cromátidas» (eso es la meiosis II) o llamar «mitosis» a la primera bajada. Y en D, contestar «gameto»: el gameto es el resultado, no la célula en la que se ha medido todo el proceso.



C = cantidad de ADN de un juego haploide de cromosomas sin replicar. Curvas ilustrativas.

Cantidad de ADN por célula en la mitosis y en la meiosis. En las dos hay una sola fase S; la meiosis tiene **dos caídas**. Curvas ilustrativas: la longitud de los tramos no es real.

7 Contar cromosomas y cromátidas en cada fase

Es el problema numérico de este tema: sale en Madrid casi cada año, en Castilla y León (con 44 + 2 o 2n = 78) y en el País Vasco (2n = 6). Trabaja siempre con **cromosomas** (se cuentan por centrómeros) y **cromátidas** por separado.

Fase (célula 2n = 4)	Cromosomas en la célula	Cromátidas por cromosoma	Moléculas de ADN
G_1	4	1	4
G_2 y metafase de mitosis	4	2	8
Anafase de mitosis (toda la célula)	8	1	8
Cada hija de la mitosis	4	1	4
Metafase I y anafase I	4	2	8
Metafase II (cada célula)	2	2	4
Anafase II (cada célula)	4	1	4
Cada célula final de la meiosis	2	1	2

En la anafase las cromátidas ya separadas cuentan como cromosomas independientes: por eso la célula «tiene» el doble de cromosomas un momento, antes de dividirse.

MADRID · PAU 2026 EXTRAORDINARIA · PREGUNTA 4.A (2 PUNTOS)

Respecto a los procesos de división celular:

Considerando un organismo unicelular con una dotación cromosómica 2n=12.

a) Indique mediante qué proceso de división celular llevaría a cabo su reproducción asexual. Mencione en qué fase de dicho proceso observaríamos células con 24 cromosomas, todos en el estado de una cromátida. (0,4 puntos)

b) Con relación al proceso de la meiosis en dicho organismo, indique cuántos cromosomas y en qué estado (con una o con dos cromátidas) se observan dentro de una célula en cada una de las siguientes fases: 1) metafase I; 2) anafase II; 3) anafase I y 4) metafase II. (0,8 puntos)

c) Razone brevemente si las cuatro células haploides que se originan tras la meiosis podrían ser genéticamente idénticas. (0,4 puntos)

d) Si las células de este organismo presentasen una pared celular similar a la de las células vegetales, explique brevemente cómo se llevaría a cabo el proceso de citocinesis. (0,4 puntos)

Apartado a)

1. Un unicelular eucariota se reproduce asexualmente por **mitosis**: da dos células iguales a la madre.
2. 24 cromosomas de una cromátida = el doble de 12: solo pasa cuando las cromátidas hermanas ya se han separado y aún están en la misma célula.

SOLUCIÓN Por **mitosis**; en la **anafase** (y hasta la citocinesis, en la telofase).

Apartado b)

1. Metafase I: aún no se ha separado nada; están los 12 cromosomas replicados, apareados en 6 bivalentes → **12 cromosomas de dos cromátidas**.
2. Anafase I: se separan homólogos, pero todavía dentro de la misma célula → **12 cromosomas de dos cromátidas**.
3. Metafase II: cada célula es ya haploide → **6 cromosomas de dos cromátidas**.
4. Anafase II: se separan las cromátidas de esos 6 → **12 cromosomas de una cromátida** (6 hacia cada polo).

SOLUCIÓN 1) 12 de dos cromátidas; 2) 12 de una cromátida; 3) 12 de dos cromátidas; 4) 6 de dos cromátidas.

Apartado c)

1. Para que fueran idénticas no debería haber **sobrecruzamiento** en la profase I y, además, el **reparto de los homólogos** en la anafase I tendría que dar el mismo resultado en ambos polos, lo que es imposible: cada polo recibe un homólogo distinto de cada pareja.
2. Aunque no hubiera sobrecruzamiento, la segregación de homólogos (que siempre ocurre) ya separa versiones distintas de cada cromosoma.

SOLUCIÓN **No** pueden ser idénticas: el sobrecruzamiento y, sobre todo, la segregación al azar de los homólogos lo impiden.

Apartado d)

1. Con pared no puede estrangularse.
2. Se forma un **fragmoplasto** en el ecuador: vesículas del **aparato de Golgi** con material de la pared se acumulan y se fusionan.

SOLUCIÓN Por **tabicación**: la fusión de vesículas del Golgi forma la **placa celular** (fragmoplasto), que da la lámina media y las nuevas paredes.

Lo que puntúa. Criterios oficiales: a) 0,2 por «mitosis» y 0,2 por «anafase»; b) 0,2 por cada fase correcta y completa (número y estado); c) hasta 0,4 por razonar que nunca serían idénticas porque haría falta que no hubiera sobrecruzamiento ni segregación al azar de los homólogos, «y, al menos, esto último siempre ocurre»; d) hasta 0,4 por la placa celular (fragmoplasto) formada por vesículas del Golgi.

Error típico que te quita puntos. Contar en la anafase II solo 6 cromosomas (te piden la célula entera, con las cromátidas ya separadas) o poner en metafase II 12 cromosomas olvidando que tras la meiosis I la célula ya es haploide.

8 El cáncer: mutaciones y ciclo celular sin control

El **cáncer** es un grupo de enfermedades en las que unas células se **dividen sin control**, **invaden** los tejidos vecinos y pueden **extenderse** a otros órganos (**metástasis**). Su origen está en **mutaciones** que alteran los genes que regulan el ciclo celular.

- **Tumor benigno**: masa de células que crece despacio, suele estar **encapsulada**, **no invade** y no da metástasis. **Tumor maligno** (cáncer): invade los tejidos vecinos y sus células pueden viajar por la sangre o la linfa y formar **metástasis**.
- Rasgos de las células cancerosas: se dividen **sin factores de crecimiento**, ignoran las señales de **freno** y la **inhibición por contacto**, **evitan la apoptosis**, se vuelven **inmortales** (reactivan la **telomerasa**), estimulan la formación de vasos sanguíneos (**angiogénesis**), pierden la diferenciación e **invaden** otros tejidos.
- **Protooncogenes**: genes normales que **estimulan** la división (factores de crecimiento y sus receptores, proteínas como RAS, MYC). Una mutación que los hiperactiva los convierte en **oncogenes**: basta con **un alelo** mutado (actúa como dominante).
- **Genes supresores de tumores**: **frenan** el ciclo o inducen la apoptosis (***TP53***, que codifica p53; ***RB1***, del retinoblastoma). Hay que **perder los dos alelos** para que la célula pierda el freno (actúan como recesivos).
- **Genes de reparación del ADN** (como *BRCA1* y *BRCA2*): si fallan, las mutaciones se acumulan mucho más deprisa.
- Hace falta **acumular varias mutaciones** en una misma célula, por eso el riesgo de cáncer **aumenta con la edad**. El cáncer es una enfermedad **genética** (de genes alterados), pero **no necesariamente hereditaria**: casi siempre las mutaciones son **somáticas** y no pasan a los hijos. Según el Instituto Nacional del Cáncer de EE. UU., solo **hasta un 10 %** de los cánceres se deben a cambios genéticos heredados.

PREGUNTA RESUELTA

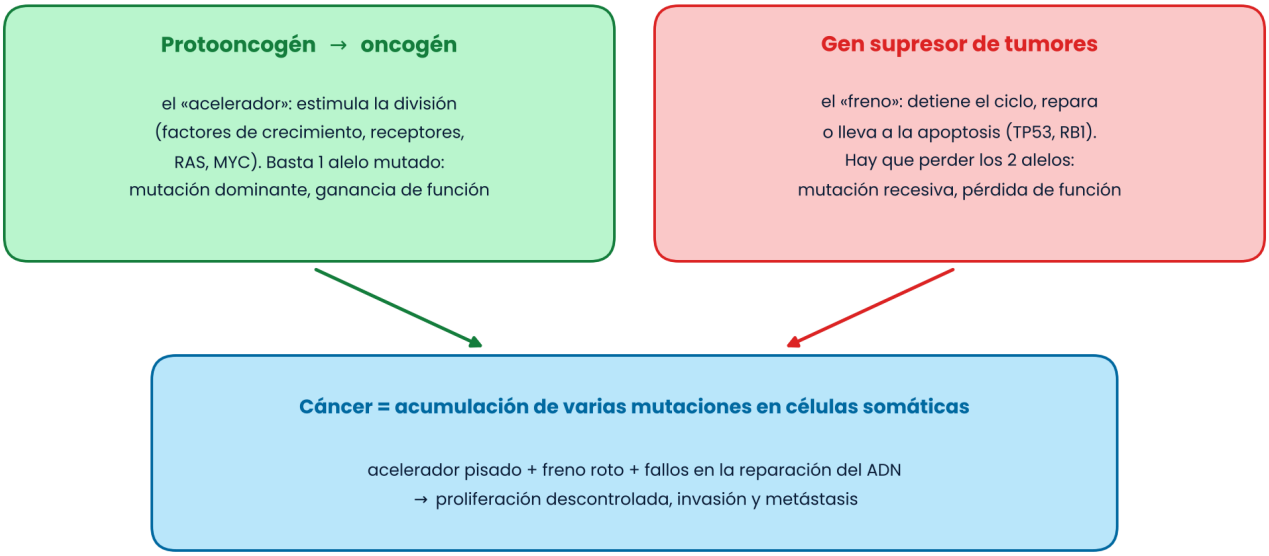
Cataluña · PAU 2026 ordinaria · Ejercicio 2.2 (0,5 puntos; versión oficial en castellano). «Los elefantes tienen veinte copias del gen supresor de tumores TP53 en su genoma, mientras que los humanos u otros mamíferos tienen una. El gen TP53 codifica la proteína p53, que detiene la división celular en el punto de control G2/M si hay daño en el ADN, para que se pueda reparar o, de lo contrario, inducir la apoptosis. Explique dos motivos por los cuales tener veinte copias del gen TP53 puede reducir el riesgo de sufrir cáncer respecto al hecho de tener menos copias.»

Respuesta modelo

Primer motivo: con **más copias** del gen se fabrica **más proteína p53 funcional**; y, si una mutación inactiva una copia, quedan otras muchas que siguen produciendo p53. Para perder del todo el «freno», una célula de elefante tendría que acumular mutaciones en muchas copias, algo muy improbable.

Segundo motivo: con más p53 activa, las células con el **ADN dañado** se detienen con más eficacia en el punto de control **G_2/M** hasta que se repara el daño o, si no se puede, entran en **apoptosis**. Así es menos probable que una célula con mutaciones se divida y forme un tumor.

Por qué puntúa. El criterio da 0,2 por «más copias implica más p53 funcional» (o copias de reserva si una muta), 0,2 por «menos células con el ADN dañado se dividen o más apoptosis» y 0,1 por la coherencia.



Los dos tipos de genes del cáncer. El oncogén es un acelerador pisado (ganancia de función, basta un alelo); el supresor de tumores, un freno roto (pérdida de función, hacen falta los dos alelos). El cáncer suma varias de estas mutaciones en una célula somática.

9 Factores de riesgo y hábitos saludables

- Según la **OMS** (nota descriptiva de julio de 2026), el cáncer causó **cerca de 10 millones de muertes en 2024**, casi **una de cada seis**; los más frecuentes son los de **pulmón**, **mama**, **colon y recto** y **próstata**.
- La OMS calcula que **alrededor del 38 %** de los cánceres pueden prevenirse evitando los factores de riesgo, y que **casi una cuarta parte** de las muertes por cáncer se deben a **tabaco**, **alcohol**, **índice de masa corporal alto**, **poca fruta y verdura** y **falta de actividad física**.
- **Agentes cancerígenos** (mutágenos, los ves en el Tema 17): **físicos** (radiación **ultravioleta** del sol, radiaciones ionizantes como el gas **radón** o los rayos X), **químicos** (los del **humo del tabaco**, el **amianto**, la acrilamida, el alcohol) y **biológicos** (virus del **papiloma humano**, VPH, y cáncer

de cuello de útero; **hepatitis B y C** y cáncer de hígado; la bacteria *Helicobacter pylori* y cáncer de estómago).

- La **5.ª edición del Código Europeo contra el Cáncer** (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, IARC, 2025) da **14 recomendaciones** personales: no fumar ni usar ningún tipo de tabaco ni vapeadores, evitar el alcohol, dieta sana (más cereales integrales, verdura y fruta; menos carne roja y procesada), mantener un peso saludable, actividad física regular, **protegerse del sol**, reducir la contaminación del aire, **vacunarse frente al VPH y la hepatitis B**, hacerse las pruebas (y tratarse) de hepatitis B y C, VIH y *H. pylori* cuando se recomiende, y participar en los **cribados**, entre otras.
- **Prevención primaria**: evitar que aparezca (hábitos, vacunas). **Prevención secundaria**: detectarlo pronto (**cribados** de mama, colon y cuello de útero), cuando más se cura.
- Tratamientos: cirugía, **radioterapia**, **quimioterapia** (fármacos que atacan a las células que se dividen deprisa, a menudo bloqueando la mitosis o la replicación) e **inmunoterapia** (la ves en el Tema 22).

Diferencias por comunidad

En **Canarias** el saber del cáncer está marcado en la matriz como «no evaluable en PAU». El **País Vasco** cambia los hábitos por «últimas investigaciones». **Andalucía** pide relacionarlo con los mutágenos y los hábitos y citar avances andaluces solo de forma transversal. **Navarra** puso en 2025 un texto sobre el **efecto Warburg** (las células tumorales obtienen la mayor parte de su energía por **glucólisis** y fermentación láctica aunque haya oxígeno).

10 Células madre y potencia celular

Sale en **La Rioja** (texto de 2,5 puntos en 2025), **Extremadura** (está en su lista de contenidos), **Navarra** y **Castilla-La Mancha**. Se relaciona con la regulación de la expresión génica y la diferenciación (Tema 16).

- Una **célula madre** es una célula **no especializada** capaz de **dividirse por mitosis** muchas veces (autorrenovación) y de **diferenciarse** en uno o varios tipos de células especializadas.
- La **diferenciación** no se debe a que las células pierdan genes: todas tienen el mismo genoma, pero cada tipo **expresa** genes distintos.

Totipotentes

Pueden formar **un organismo completo**, incluidos los anexos embrionarios (placenta). El **cigoto** y las células de las primeras divisiones del embrión.

Pluripotentes

Pueden dar **cualquier tipo celular del cuerpo**, pero no un organismo entero. Las **células madre embrionarias** de la masa celular interna del blastocisto y las **iPS** (pluripotentes inducidas).

Multipotentes

Dan **varios tipos** de células de un mismo linaje. Por ejemplo, las **células madre hematopoyéticas** de la médula ósea dan todas las células de la sangre.

Unipotentes

Dan **un solo tipo** de célula, aunque conservan la capacidad de autorrenovarse.

Un Nobel que cae

John Gurdon y **Shinya Yamanaka** recibieron el **Nobel de Fisiología o Medicina de 2012** «por el descubrimiento de que las células maduras pueden ser reprogramadas para volverse pluripotentes»: las **iPS** se obtienen de células adultas sin destruir embriones y, al ser del propio paciente, evitan el **rechazo**.

Conceptos clave

Ciclo celular
Conjunto ordenado de procesos por los que pasa una célula desde que se forma, por división de otra, hasta que se divide. Consta de interfase (G_1, S y G_2) y fase M (mitosis y citocinesis).

Interfase
Etapa del ciclo entre dos divisiones en la que la célula crece, realiza su actividad metabólica y replica su ADN (fase S). Es la etapa más larga.

Fase G_0
Estado de reposo de las células que salen del ciclo en G_1 y dejan de dividirse, de forma permanente (neuronas) o temporal.

Punto de control
Momento del ciclo en que la célula comprueba que se cumplen las condiciones para seguir (ADN íntegro y replicado, cromosomas unidos al huso, tamaño, factores de crecimiento) y, si no, detiene el ciclo.

Punto R (de restricción)
Punto de control al final de G_1, dependiente de factores de crecimiento: una vez superado, la célula entra en la fase S y completa el ciclo.

Ciclinas
Proteínas cuya concentración sube y baja a lo largo del ciclo; al unirse a las CDK las activan y desencadenan cada etapa.

CDK
Quinasas dependientes de ciclinas: enzimas que fosforilan otras proteínas para hacer avanzar el ciclo; solo son activas unidas a una ciclina.

Mitosis
División del núcleo en la que las cromátidas hermanas de cada cromosoma se reparten entre dos núcleos hijos con la misma información genética que la célula madre.

Citocinesis
División del citoplasma tras la mitosis o la meiosis: por estrangulamiento con un anillo contráctil de actina y miosina en las células animales y, en las vegetales, por una placa celular formada por vesículas del Golgi que guía el fragmoplasto.

Cromátidas hermanas
Las dos copias idénticas de un cromosoma, formadas en la replicación y unidas por el centrómero hasta la anafase.

Cinetocoro
Estructura proteica situada en el centrómero de cada cromátida a la que se unen los microtúbulos del huso.

Huso mitótico (acromático)
Conjunto de microtúbulos que se forma en la división celular y mueve los cromosomas hacia los polos.

Meiosis
Proceso de dos divisiones sucesivas tras una sola replicación por el que una célula diploide origina cuatro células haploides genéticamente distintas.

Cromosomas homólogos
Pareja de cromosomas, uno de origen materno y otro paterno, con los mismos genes en el mismo orden (aunque puedan llevar alelos distintos).

Bivalente (tétrada)

Pareja de cromosomas homólogos apareados en la profase I de la meiosis; tiene cuatro cromátidas.

Sobrecruzamiento

Intercambio de fragmentos entre cromátidas no hermanas de cromosomas homólogos durante la profase I, que produce recombinación génica.

Quiasma

Punto visible en el que dos cromátidas no hermanas de un bivalente están unidas tras el sobrecruzamiento.

Haploide y diploide

Haploide (n): célula con un solo juego de cromosomas. Diploide (2n): con dos juegos, uno de cada progenitor.

Apoptosis

Muerte celular programada y regulada genéticamente que elimina células dañadas o innecesarias sin causar inflamación.

Cáncer

Conjunto de enfermedades causadas por la proliferación descontrolada de células que han acumulado mutaciones en genes reguladores del ciclo y que pueden invadir otros tejidos (metástasis).

Metástasis

Diseminación de células de un tumor maligno a otros órganos a través de la sangre o la linfa, donde forman tumores secundarios.

Protooncogén

Gen normal que estimula la proliferación celular; si muta y se hiperactiva se convierte en oncogén.

Gen supresor de tumores

Gen que frena el ciclo celular, repara el ADN o induce la apoptosis (como TP53); su pérdida de función en los dos alelos favorece el cáncer.

Célula madre

Célula no especializada capaz de autorrenovarse por mitosis y de diferenciarse en uno o varios tipos celulares; según su potencia, totipotente, pluripotente, multipotente o unipotente.

MODO PAU

Seis claves que valen puntos

Fases del ciclo

G_1 (crece) → **S** (replica el ADN: 2C → 4C) → **G_2** (se prepara) → **M** (mitosis + citocinesis). **G_0**: fuera del ciclo.

Regulación

Ciclina + CDK = motor; **puntos de control** R (G_1/S), G_2/M y del huso = frenos. **p53** para el ciclo si el ADN está dañado o lleva a la **apoptosis**.

Mitosis frente a meiosis

Mitosis: **1 división**, **2 células iguales** (2n → 2n). Meiosis: **2 divisiones**, **4 células distintas** (2n → n). En la anafase I se separan **homólogos**; en la II, **cromátidas**.

Variabilidad

Sobrecruzamiento (profase I) + **segregación al azar de homólogos** (metafase-anafase I) + fecundación. Di **qué** y **cuándo**.

Contar

Cromosomas = **centrómeros**. En 2n = 4: metafase I, 4 cromosomas de 2 cromátidas; metafase II, **2** de 2; anafase II, 4 de 1 en la célula.

Cáncer

Oncogén (acelerador, ganancia de función, 1 alelo) + **supresor** (freno, pérdida de función, 2 alelos) + reparación del ADN. **Genético, no necesariamente hereditario**.

Cómo te lo pueden preguntar

- **Murcia (2025 ordinaria, P4):** «A) Enumere las fases de que consta el ciclo celular completo e indique, en términos generales, qué ocurre en la célula en cada una de ellas (1,5 puntos). B) Explique el punto de control R del ciclo celular (0,5 puntos).»
- **Andalucía (2026 extraordinaria, ejercicio 5, opción 2):** «a) Defina ciclo celular [0,3] y nombre sus dos etapas fundamentales en una célula eucariota somática [0,2]. b) Indique los nombres de las fases de la primera etapa y el acontecimiento principal que ocurre en cada una de ellas [0,6].»
- **Castilla y León (2026 extraordinaria, 3.1.A):** «a) Explique las diferencias entre la mitosis y la meiosis respecto al número de divisiones, al número de células hijas generadas y al número de cromosomas. (0,9) b) Explique cómo es el comportamiento de los cromosomas homólogos en la mitosis y en la meiosis. (0,6)»
- **Asturias (2025 extraordinaria, P3 opción B.3):** «Señala en qué proceso y fase se encontrará una célula en la que los cromosomas homólogos están formados por dos cromátidas y se están desplazando hacia polos opuestos. Justifica tu respuesta.» (0,5 puntos)
- **Navarra (2025 extraordinaria, P5):** «Analiza la figura 1 adjunta. a) ¿Qué proceso se observa? (0.25 P) b) Indica la fase qué se observa en las células numeradas del 1 al 6 y ordénalas cronológicamente. (0.5 P) c) Explica por qué hay células en diferentes fases del ciclo celular en el mismo tejido. (0.25 P)» [Figura: micrografía óptica de un tejido con células en distintas fases de la mitosis numeradas del 1 al 6.]
- **Comunitat Valenciana (2026 extraordinaria):** «La citocinesis se produce tanto en células animales como en vegetales, pero el proceso no es exactamente igual. ¿En qué se diferencia? (1 punto).»
- **Castilla-La Mancha (modelo 2027):** «Describa el proceso de citocinesis en células animales. [0.5 puntos]»
- **Madrid (2025 extraordinaria, 4.A b):** «Cite dos procesos que contribuyan a producir variabilidad genética durante la meiosis e indique las fases de la meiosis en las que se producen. Justifique brevemente su respuesta (0,5 puntos).»
- **Cataluña (2026 reserva, 3.4, versión oficial en castellano):** «"Una persona con el gen de la p53 mutado tiene riesgo de padecer cáncer". Explique el porqué de esta afirmación.» (0,5 puntos)
- **La Rioja (2025 ordinaria, P7, texto sobre células madre «invisibles» para el párkinson):** «a. ¿Qué son las células madre embrionarias? (0,5 puntos) b. ¿Qué quiere decir que son pluripotentes? Y, ¿el resto de las células de un organismo animal tienen características similares? (0,5 puntos)»

No lo confundas

- **Cromosoma** y **cromátida**: un cromosoma puede tener una cromátida (G_1, tras la anafase) o dos (de S a la metafase). Se cuentan los cromosomas por los **centrómeros**.
- **Cromátidas hermanas** (copias idénticas de un cromosoma) y **cromosomas homólogos** (uno del padre y otro de la madre, con los mismos genes pero no necesariamente los mismos alelos).
- **Anafase de mitosis** y **anafase II**: en las dos se separan cromátidas, pero en la anafase II la célula es haploide (sin parejas de homólogos). **Anafase I**: se separan homólogos con dos cromátidas.
- **Cariocinesis** (división del núcleo, la mitosis propiamente dicha) y **citocinesis** (división del citoplasma).
- La meiosis **no** reduce el número de cromosomas en la meiosis II: la reducción (2n → n) ocurre en la **meiosis I**.
- **Apoptosis** (programada, sin inflamación) y **necrosis** (accidental, con inflamación).
- **Oncogén** (versión mutada e hiperactiva de un protooncogén) y **protooncogén** (el gen normal). El protooncogén no es «un gen malo»: es imprescindible.

- Cáncer **genético** (de genes alterados) no es lo mismo que **hereditario** (que pasa a los hijos): solo se heredan las mutaciones de la **línea germinal**.

Ponte a prueba

Andalucía · PAU 2025 ordinaria · Pregunta 3.2 (2 puntos). «En una clase de biología aplicada, en la que se está estudiando la mitosis en células somáticas de un organismo animal, se observa que: A. Los cromosomas comienzan a desplazarse hacia extremos opuestos de la célula. B. Los cromosomas están condensados y se alinean en el centro de la célula. C. Dos núcleos nuevos comienzan a formarse. a) ¿A qué fases de la mitosis corresponden A, B y C? [0,3]. b) ¿Qué fase de la mitosis no se ha observado? [0,1]. Indique tres acontecimientos que ocurren en esta fase [0,6]. c) Indique la importancia biológica que tiene la mitosis para este organismo [0,5]. d) Sabiendo que la colchicina inhibe la polimerización de la tubulina, ¿qué efectos tendría en la mitosis de estas células? Razone la respuesta [0,5].»

Solución: a) A: **anafase**; B: **metafase**; C: **telofase**. b) No se ha observado la **profase**. En ella: los cromosomas empiezan a **condensarse**; desaparece el **nucléolo**; se rompe la **envoltura nuclear**; los **centrosomas** se separan hacia los polos y empieza a formarse el **huso**. c) Al ser un animal pluricelular, la mitosis le sirve para **crecer** (aumentar el número de células) y para **renovar y reparar** sus tejidos, manteniendo en las células hijas la misma información genética. d) Sin polimerización de la tubulina no se forman **microtúbulos** y, por tanto, **no se forma el huso mitótico**: los cromosomas no pueden alinearse ni separarse y la **división se detiene** (en metafase).

Castilla y León · PAU 2025 extraordinaria · Opción 3.1.A. «a) Si una célula con 44 cromosomas autosómicos y 2 sexuales entra en meiosis, ¿cuántas células hijas se formarán y qué ploidía presentarán? ¿Cuántos cromosomas tendrá cada una de las células hijas? Enumerar todas las fases de la meiosis en el orden en el que tienen lugar. (0,8) b) ¿Qué proceso tiene lugar durante la fase S del ciclo celular? ¿Qué fase precede a la fase S? (0,7)»

Solución: a) La célula es humana diploide (2n = 46). Se forman **4 células hijas haploides (n)**, cada una con **23 cromosomas** (22 autosomas + 1 sexual). Fases: **profase I, metafase I, anafase I, telofase I** (meiosis I) y **profase II, metafase II, anafase II, telofase II** (meiosis II), cada división con su citocinesis. b) En la fase S se produce la **replicación (duplicación) del ADN**, semiconservativa: cada cromosoma pasa a tener dos cromátidas; también se sintetizan histonas. La precede la fase **G_1**.

Asturias · PAU 2025 extraordinaria · P3 opción B.3 (0,5 puntos). «Señala en qué proceso y fase se encontrará una célula en la que los cromosomas homólogos están formados por dos cromátidas y se están desplazando hacia polos opuestos. Justifica tu respuesta.»

Solución: Es la **anafase I de la meiosis**. Justificación: solo en la meiosis I se separan los **cromosomas homólogos** hacia polos opuestos; y lo hacen con **sus dos cromátidas** todavía unidas por el centrómero. En la anafase de la mitosis y en la anafase II lo que se separan son **cromátidas hermanas**, y cada una viaja como un cromosoma de una sola cromátida.

Andalucía · PAU 2026 extraordinaria · Ejercicio 5, opción 2 c y d. «c) ¿Qué etapa del ciclo celular y qué fase en concreto se representa en la imagen? [0,2]. Describa brevemente el proceso fundamental que se representa en la imagen [0,4]. d) Explique el tipo de mutación que presentará la célula hija de la parte superior de la imagen tras la división [0,3].» [Figura: célula con el huso en la que las cromátidas de cuatro cromosomas se dirigen a los dos polos, pero las dos cromátidas de uno de ellos van juntas al polo inferior, de modo que al polo superior llegan tres.]

Solución: c) Etapa de **división (mitosis)**, fase de **anafase**. Se separan las **cromátidas hermanas** de cada cromosoma porque se acortan los microtúbulos del huso unidos a los **cinetocoros**, que las arrastran hacia polos opuestos. d) Una pareja de cromátidas no se ha separado (**no disyunción**). La célula hija superior tendrá **tres cromosomas en lugar de cuatro**: es una mutación **genómica** (numérica), en concreto una **aneuploidía** por pérdida de un cromosoma (**monosomía**). La inferior tendrá uno de más (trisomía). Lo amplías en el Tema 17.

La Rioja · PAU 2025 ordinaria · Cuestión 4B (1 punto). «Cada día hay más evidencias de la relación del cáncer con la genética. Conteste a las siguientes cuestiones a cerca de esta relación. a) ¿Qué son los protooncogenes y cómo pueden transformarse en oncogenes? (0,2 puntos) b) ¿Qué función tienen los genes supresores de tumores y los de reparación del ADN en la aparición del cáncer? (0,2 puntos) c) ¿Por qué se dice que el cáncer es una enfermedad genética pero no necesariamente hereditaria? (0,6 puntos)»

Solución: a) Los **protooncogenes** son genes normales que **estimulan la división celular** (factores de crecimiento, sus receptores, proteínas de señalización). Se transforman en **oncogenes** por **mutaciones** (puntuales, amplificaciones, translocaciones) que los vuelven **hiperactivos** o activos de forma permanente. b) Los **genes supresores de tumores** (como *TP53*) **frenan el ciclo** o provocan la **apoptosis** de las células dañadas; los de **reparación del ADN** corrigen errores. Cuando se inactivan, las células con mutaciones siguen dividiéndose y las mutaciones se acumulan, lo que favorece el cáncer. c) Es **genética** porque se debe a **mutaciones** en genes que controlan el ciclo celular. Pero esas mutaciones suelen producirse en **células somáticas** a lo largo de la vida (por errores de replicación o por agentes mutágenos como el tabaco o la radiación UV), y las mutaciones somáticas **no se transmiten a los hijos**. Solo es **hereditaria** cuando una mutación está en la **línea germinal** (óvulo o espermatozoide); entonces se hereda una **predisposición** (por ejemplo, mutaciones en *BRCA1*), no el cáncer en sí, porque aún hacen falta otras mutaciones. Se calcula que solo **hasta un 10 %** de los cánceres se deben a cambios heredados.

Fuentes

1. Cooper, G. M., *The Cell: A Molecular Approach*, 2.ª ed. (Sinauer, 2000): «The Eukaryotic Cell Cycle» (NCBI Bookshelf)
2. Alberts, B. et al., *Molecular Biology of the Cell*, 4.ª ed. (Garland Science, 2002), caps. «The Cell Cycle and Programmed Cell Death», «Mechanics of Cell Division», «Germ Cells and Fertilization» y «Cancer» (NCBI Bookshelf)
3. Nobelprize.org: Premio Nobel de Fisiología o Medicina 2001 (Hartwell, Hunt y Nurse), nota de prensa
4. Nobelprize.org: Premio Nobel de Fisiología o Medicina 2012 (Gurdon y Yamanaka)
5. Organización Mundial de la Salud: nota descriptiva «Cancer» (3 de julio de 2026)
6. IARC (OMS): Código Europeo contra el Cáncer, 5.ª edición (2025)
7. National Cancer Institute (EE. UU.): «The Genetics of Cancer»
8. Universidades públicas de Madrid (UCM): examen y criterios de Biología, PAU 2026 extraordinaria
9. Universidad de Murcia: examen y criterios de Biología, PAU 2026 (julio)

Imágenes: Esquema propio: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia a partir de Alberts et al., Molecular Biology of the Cell (4.ª ed.) y Cooper, The Cell: A Molecular Approach (2.ª ed.) · Meristemo de raíz de cebolla: Doc. RNDr. Josef Reischig, CSc. (CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons) · Esquema propio: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia a partir de Alberts et al., Molecular Biology of the Cell (4.ª ed.) y Cooper, The Cell: A Molecular Approach (2.ª ed.) · Esquema propio: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia a partir de Alberts et al., Molecular Biology of the Cell (4.ª ed.) y Cooper, The Cell: A Molecular Approach (2.ª ed.) · Esquema propio: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia a partir de Alberts et al., Molecular Biology of the Cell (4.ª ed.) y Cooper, The Cell: A Molecular Approach (2.ª ed.) · Esquema propio: Farmeando PAU, esquema de elaboración propia a partir de Alberts et al., Molecular Biology of the Cell (4.ª ed.), capítulo «Cancer»

Apuntes de Farmeando PAU · farmeandopau.com · Revisados frente a fuentes. Última revisión: 25 de octubre de 2026. Licencia CC BY-NC-ND 4.0: puedes copiarlo y compartirlo citándonos, sin uso comercial ni cambios (las imágenes, con su propia licencia). ¿Un error? Avísanos desde la página del tema. Cómo los hacemos: farmeandopau.com/metodologia.