

PAU 2026

Tema 13. Biotecnología



Academia de Ciencias Lógica

www.academiadecienciaslogica.com

1. **Introducción a la Ómica**
2. **Conceptos Fundamentales en Ingeniería Genética**
3. **Fundamento de las Tecnologías: PCR y CRISPR**
 - 3.1. La Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) y sus aplicaciones.
 - 3.2. Sistema CRISPR-Cas9 (Edición Genética) y sus aplicaciones.
4. **Importancia y Repercusiones de la Biotecnología**
5. **Biotecnología Ambiental**
 - 5.1. Concepto de Biorremediación.
 - 5.2. Uso de microorganismos en la mejora ambiental (mareas negras, aguas residuales, control de plagas).
6. **Uso de Microorganismos en la Industria**
 - 6.1. Industria Agrícola (insecticidas biológicos, plantas transgénicas).
 - 6.2. Industria Alimentaria (fermentaciones: pan, cerveza, vino, yogur y queso).
 - 6.3. Industria Farmacéutica y Medicina (antibióticos, vacunas, proteínas recombinantes, diagnóstico y terapias génicas).

AUTOEVALUACIÓN

TEMA 13. BIOTECNOLOGÍA

1. INTRODUCCIÓN A LA ÓMICA

El avance de las técnicas de secuenciación masiva ha permitido pasar del estudio de genes aislados al estudio global de las moléculas de un organismo.

Genoma: Es el conjunto completo de ADN (material genético) de un organismo, incluyendo todos sus genes y secuencias no codificantes.

Genómica: Es la disciplina científica que se encarga del mapeo, secuenciación y análisis exhaustivo de los genomas. Permite identificar la localización de los genes y estudiar su función y evolución (genómica estructural y funcional).

Proteoma: Es el conjunto completo de proteínas expresadas por un genoma, célula, tejido u organismo en un momento específico y bajo unas condiciones determinadas. A diferencia del genoma (que es estático), el proteoma es altamente dinámico.

Proteómica: Es el estudio a gran escala de los proteomas. Analiza la estructura, función, localización e interacciones de las proteínas celulares, siendo fundamental para descubrir biomarcadores de enfermedades o dianas terapéuticas.

2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES EN INGENIERÍA GENÉTICA

La biotecnología moderna se basa en la manipulación directa de los ácidos nucleicos celular.

1. Ingeniería genética: Conjunto de técnicas metodológicas que permiten aislar, modificar, multiplicar y transferir genes de un organismo a otro, superando las barreras reproductivas naturales entre especies.

2. ADN recombinante: Es una molécula de ADN artificial creada en el laboratorio mediante la unión de secuencias de ADN provenientes de dos organismos diferentes. Para crearlo se utilizan enzimas de restricción (que cortan el ADN en secuencias específicas creando "extremos cohesivos") y ADN-ligasas (que pegan los fragmentos).

3. Organismo transgénico (OGM): Es un organismo cuyo genoma ha sido alterado mediante la introducción de un gen foráneo (transgén) procedente de otra especie, con el fin de que exprese una nueva característica.

4. Clon: En biotecnología, hace referencia a una copia genéticamente idéntica. Puede aplicarse a moléculas (clonación de un gen), a células (cultivo celular) o a organismos completos (ej. la oveja Dolly, obtenida por transferencia nuclear de una célula somática).

5. Célula madre: Son células indiferenciadas que poseen dos propiedades únicas: capacidad de autorrenovación (dividirse indefinidamente) y pluripotencia o multipotencia (capacidad de diferenciarse en diversos tipos de células especializadas, como neuronas o miocitos).

Es el conjunto de órganos, tejidos, células y moléculas implicados en la inmunidad específica. Distingue lo propio de lo extraño (tolerancia inmunológica) y elimina lo ajeno.

6. Terapia génica: Tratamiento médico que consiste en introducir material genético en las células de un paciente para curar o aliviar una enfermedad, generalmente sustituyendo un gen mutado defectuoso por una copia sana y funcional, utilizando comúnmente virus modificados como vectores.

3. FUNDAMENTO DE LAS TECNOLOGÍAS: PCR Y CRISPR

3.1 LA REACCIÓN EN CADENA DE LA POLIMERASA (PCR)

Técnica desarrollada por Kary Mullis que permite obtener millones de copias de un fragmento específico de ADN in vitro en pocas horas.

Fundamento: Imita la replicación natural del ADN. Utiliza una enzima especial, la Taq polimerasa (extraída de una bacteria termófila, *Thermus aquaticus*, por lo que no se desnaturaliza a altas temperaturas), cebadores o primers (secuencias cortas de ARN/ADN que inician la copia) y nucleótidos libres.

Proceso (Ciclos térmicos): 1. Desnaturalización (95°C): Separación de las hebras de ADN. 2. Hibridación (50-60°C): Unión de los cebadores a los extremos del gen diana. 3. Elongación (72°C): La Taq polimerasa sintetiza la nueva hebra complementaria.

Aplicaciones: Diagnóstico de enfermedades infecciosas (ej. detección de virus), medicina forense (huella genética a partir de restos biológicos mínimos), paleontología y clonación de genes.

3.2 SISTEMA CRISPR-CAS9 (EDICIÓN GENÉTICA)

Descubierto inicialmente por Francis Mojica como un sistema inmunológico natural de las bacterias para defenderse de los virus (bacteriófagos). Hoy es la herramienta de edición genética más potente.

Fundamento molecular: Utiliza una molécula de ARN guía (sgRNA) diseñada en laboratorio que es complementaria a la secuencia específica de ADN que se quiere editar. Este ARN va unido a la enzima Cas9, que actúa como unas "tijeras moleculares". El ARN guía dirige a la Cas9 hasta la secuencia exacta del genoma, donde la enzima realiza un corte de doble cadena. Posteriormente, se aprovechan los sistemas de reparación celular para inactivar el gen o insertar una secuencia nueva de forma ultraprecisa.

Aplicaciones: Edición precisa de genes defectuosos causantes de enfermedades hereditarias, desarrollo rápido de cultivos resistentes a sequías, y creación de modelos animales para investigación biomédica.

4. IMPORTANCIA Y REPERCUSIONES DE LA BIOTECNOLOGÍA

La biotecnología tiene un impacto transformador en la sociedad moderna:

Medioambientales: Reducción del uso de pesticidas químicos mediante cultivos transgénicos y limpieza de ecosistemas contaminados. Sin embargo, existe el riesgo ecológico de transferencia horizontal de genes a especies silvestres o pérdida de biodiversidad agraria.

Socioeconómicas: Aumento del rendimiento agrícola y producción de fármacos accesibles.

Bioéticas: Plantea debates sobre la patentabilidad de genes, el uso de células madre embrionarias, la privacidad genómica y los límites éticos de la modificación genética en humanos (prohibición de la alteración de la línea germinal).

5. BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

5.1 BIORREMEDIACIÓN

Concepto: Es el uso intencionado de microorganismos (bacterias, hongos) o plantas (fitorremediación) para degradar, transformar o eliminar sustancias tóxicas y contaminantes del medio ambiente, restituyendo los ecosistemas a su estado natural.

5.2 USO DE MICROORGANISMOS EN LA MEJORA AMBIENTAL

Tratamiento de mareas negras: Se utilizan bacterias degradadoras de hidrocarburos (ej. *Pseudomonas* o *Alcanivorax*). Estos microorganismos utilizan el petróleo como fuente de carbono y energía, oxidándolo y transformándolo en compuestos inofensivos (CO_2 y agua). A menudo se añaden nutrientes limitantes (fósforo y nitrógeno) al mar para acelerar su proliferación (bioestimulación).

Depuración de aguas residuales: En las Estaciones Depuradoras (EDAR), el tratamiento secundario biológico es clave. Consiste en reactores de fangos activos donde consorcios de bacterias aerobias oxidan la materia orgánica disuelta en el agua y digestores anaerobios que transforman los lodos residuales en biogás (metano) aprovechable energéticamente.

Control biológico de plagas: Uso de microorganismos patógenos para insectos plaga en lugar de usar pesticidas químicos sintéticos, preservando así la cadena trófica y evitando la toxicidad ambiental.

6. USO DE MICROORGANISMOS EN LA INDUSTRIA

La microbiología industrial explota el metabolismo microbiano a gran escala utilizando biorreactores.

6.1 INDUSTRIA AGRÍCOLA

Insecticidas biológicos: Destaca el uso de la bacteria *Bacillus thuringiensis*. Esta bacteria produce una proteína (Toxina Bt) que es letal para las larvas de ciertos insectos plaga, pero inocua para humanos y otros vertebrados.

Plantas transgénicas: Mediante biotecnología, el gen de la toxina Bt se ha introducido en el genoma del maíz o algodón (Maíz Bt), logrando que la propia planta sintetice su insecticida. Otro ejemplo es el Arroz Dorado, enriquecido en provitamina A para combatir la ceguera infantil en países en desarrollo.

6.2 INDUSTRIA ALIMENTARIA (FERMENTACIONES)

Se basa en el metabolismo anaerobio (fermentación) de ciertos microbios para transformar sustratos y conservar alimentos. Pan, Cerveza y Vino: Utilizan la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, que realiza la fermentación alcohólica. Transforma los azúcares de la harina, la cebada o el mosto de uva en etanol y CO_2 . En el pan, el alcohol se evapora y el gas esponja la masa.

Yogur y Queso: Utilizan bacterias lácticas (como Lactobacillus o Streptococcus), que realizan la fermentación láctica. Transforman la lactosa de la leche en ácido láctico. La bajada del pH provoca la desnaturalización y coagulación de las proteínas de la leche (caseína), dándole la textura característica al producto e impidiendo la colonización por patógenos.

6.3 INDUSTRIA FARMACÉUTICA Y MEDICINA

La integración de la ingeniería genética con la microbiología ha revolucionado la medicina clínica: Síntesis de antibióticos: Producción masiva en biorreactores de compuestos generados naturalmente por hongos (como la Penicillium productora de penicilina) o por bacterias (género Streptomyces).

Producción de proteínas humanas recombinantes: Antes, la insulina para diabéticos se extraía del páncreas de cerdos. Hoy, el gen humano de la insulina se inserta en plásmidos que se introducen en bacterias E. coli. La bacteria transcribe y traduce el gen humano, actuando como una biofábrica viva para producir insulina pura y segura.

Nuevas vacunas: Fabricación de vacunas recombinantes (produciendo solo los antígenos de superficie del virus en cultivos de levaduras, ej. vacuna de la Hepatitis B) o producción de los plásmidos necesarios para las vacunas de ARNm y vectores virales.

Diagnóstico genético: Detección precoz de enfermedades genéticas hereditarias mediante la amplificación (PCR) y secuenciación del ADN fetal o del paciente, permitiendo identificar mutaciones exactas (ej. fibrosis quística o genes BRCA en cáncer de mama).

Terapias génicas medicinales: Aplicación del ADN recombinante y vectores virales para reintroducir alelos sanos en pacientes que sufren inmunodeficiencias severas (Niños burbuja) o cegueras hereditarias.

Preguntas competenciales

PAU - 2026

PREGUNTA COMPETENCIAL 1

En la escena de un crimen se ha encontrado una minúscula gota de sangre. Los analistas forenses extraen el ADN, pero la cantidad es insuficiente para realizar las pruebas de identificación genética, por lo que deciden someter la muestra a una técnica de laboratorio descubierta por Kary Mullis. a) Identifique el nombre de la técnica que deben utilizar los analistas y explique cuál es su finalidad principal in vitro. b) Esta técnica requiere someter repetidamente la muestra a temperaturas de 95°C. Sabiendo esto, ¿por qué es imprescindible utilizar la enzima Taq polimerasa (extraída de la bacteria *Thermus aquaticus*) en lugar de una ADN-polimerasa humana? c) Describa brevemente qué ocurre molecularmente con la doble hélice de ADN durante la fase de desnaturalización térmica a 95°C.

PREGUNTA COMPETENCIAL 2

La anemia falciforme es una enfermedad hereditaria causada por una mutación puntual en el gen que codifica la hemoglobina. Un equipo de investigadores propone extraer células madre de la médula ósea del paciente, corregir el gen defectuoso en el laboratorio utilizando el sistema CRISPR-Cas9 y volver a implantarlas. a) El sistema CRISPR-Cas9 requiere de dos componentes moleculares clave para funcionar. Nombre ambos componentes y explique el papel específico que juega cada uno de ellos en la edición del gen mutado de la hemoglobina. b) ¿Por qué este procedimiento se considera una terapia génica y no la creación de un organismo transgénico? c) Enumere las dos propiedades fundamentales que deben poseer las células madre extraídas del paciente para garantizar el éxito del injerto a largo plazo..

PREGUNTA COMPETENCIAL 3

Hasta la década de 1980, la insulina para pacientes diabéticos se extraía del páncreas de cerdos. Hoy en día, la casi totalidad de la insulina se produce a escala industrial introduciendo el gen humano en la bacteria *Escherichia coli*. a) La construcción de la molécula de ADN introducida en la bacteria requiere de la técnica del ADN recombinante. Nombre los dos tipos de enzimas que actúan como "tijeras" y "pegamento" moleculares en esta técnica. b) Desde el punto de vista evolutivo y genético, justifique cómo es posible que una célula pro- cariota (la bacteria) sea capaz de "leer" un gen humano (eucariota) y sintetizar la proteína exacta sin cometer errores en la secuencia de aminoácidos.

PREGUNTA COMPETENCIAL 4

Tras el hundimiento de un petrolero frente a las costas de Galicia, las autoridades deciden emplear una estrategia de biorremediación utilizando bacterias marinas del género *Alcanivorax*. Además de inocular las bacterias, vierten al mar fertilizantes ricos en nitrógeno y fósforo. a) Defina el concepto de biorremediación. b) Desde un punto de vista metabólico, explique qué papel juegan los hidrocarburos del petróleo para estas bacterias concretas y en qué sustancias inofensivas terminarán transformándolos. c) Razone por qué el vertido simultáneo de nitrógeno y fósforo (bioestimulación) resulta fundamental para acelerar la limpieza de la marea negra.

PREGUNTA COMPETENCIAL 5

El "Maíz Bt" es un cultivo diseñado genéticamente para ser resistente al ataque del taladro (un insecto plaga cuyas larvas devoran los tallos). Para su creación, se ha utilizado un gen procedente de la bacteria *Bacillus thuringiensis*. a) Basándose en la procedencia del material genético, defina qué tipo de organismo es el "Maíz Bt". b) ¿En qué se diferencia esta estrategia de control de plagas respecto a la fumigación tradicional con insecticidas químicos? Cite una ventaja de índole medioambiental. c) Suponga que el genoma de la planta ha sido completamente mapeado y secuenciado. ¿A qué disciplina ómica de la biología molecular nos estaríamos refiriendo? Defínala brevemente..

PREGUNTA COMPETENCIAL 6

La producción de pan y la de yogur son procesos biotecnológicos tradicionales que dependen exclusivamente del metabolismo de microorganismos específicos en condiciones anaerobias. a) Identifique el proceso metabólico concreto y el microorganismo responsable de que la masa del pan "suba" y se vuelva esponjosa, explicando el motivo químico de dicho aumento de volumen. b) En la producción de yogur, la actividad de las bacterias lácticas provoca un cambio físico en la leche, dándole su textura espesa. Justifique molecularmente este fenómeno basándose en la variación del pH y su efecto sobre las proteínas.

RESPUESTAS DE LAS PREGUNTAS COMPETENCIALES

RESPUESTA COMPETENCIAL 1

- a) La técnica es la PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa). Su finalidad es lograr la amplificación del ADN; es decir, obtener millones de copias de un fragmento de ADN específico a partir de una muestra muy pequeña.
- b) La ADN-polimerasa humana es una proteína que a 95°C se desnaturalizaría, perdiendo su estructura tridimensional y su funcionalidad catalítica. La Taq polimerasa proviene de una bacteria termófila extremófila, por lo que su estructura proteica está adaptada para soportar las altas temperaturas de la termociclación sin perder su actividad enzimática.
- c) A 95°C se produce la rotura de los puentes de hidrógeno que unen las bases nitrogenadas complementarias, provocando la separación (apertura) de las dos hebras de la doble hélice de ADN.

RESPUESTA COMPETENCIAL 2

- a) Los componentes son: 1) El ARN guía (sgRNA), que por complementariedad de bases se une a la secuencia exacta del genoma que se desea editar, dirigiendo a la enzima hacia allí.
2) La enzima Cas9 (endonucleasa), que actúa como tijera molecular realizando un corte en la doble cadena de ADN en ese punto preciso para permitir la reparación/edición posterior.
- b) Es una terapia génica porque se interviene sobre el genoma del propio paciente para curar una patología celular, sin introducir genes de una especie distinta (transgenes) para darle capacidades nuevas impropias de su especie.
- c) Deben tener capacidad de autorrenovación (multiplicarse manteniendo su estado celular) y pluripotencia o multipotencia (capacidad de diferenciarse en las distintas células sanguíneas maduras, incluyendo glóbulos rojos funcionales).

RESPUESTA COMPETENCIAL 3

- a) Las "tijeras moleculares" son las enzimas de restricción (endonucleasas de restricción), y el "pegamento" que une los fragmentos creando enlaces fosfodiéster son las ADN-ligasas.
- b) Esto es posible gracias a que el código genético es universal (o casi universal). Un mismo triplete de nucleótidos (codón) en el ARNm codifica para exactamente el mismo aminoácido tanto en células humanas (eucariotas) como en bacterias (procariotas), permitiendo la síntesis de la misma proteína humana

RESPUESTA COMPETENCIAL 4

- a) La biorremediación es la utilización intencionada de seres vivos (principalmente microorganismos o plantas) para descontaminar un ecosistema degradado, transformando los contaminantes tóxicos en sustancias inofensivas.
- b) Las bacterias utilizan los hidrocarburos (petróleo) como fuente de carbono y energía (metabolismo heterótrofo). Tras su oxidación completa a través de la respiración celular aerobia, transforman el contaminante en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O).
- c) Las bacterias necesitan sintetizar proteínas y ácidos nucleicos para multiplicarse rápidamente. Aunque el mar les ofrezca carbono ilimitado en forma de petróleo, el nitrógeno y el fósforo suelen ser factores limitantes en la naturaleza. Al añadirlos, se estimula su reproducción masiva, acelerando la degradación del vertido.

RESPUESTA COMPETENCIAL 5

- a) Es un organismo transgénico (u Organismo Genéticamente Modificado, OGM), puesto que en su genoma se ha introducido de forma artificial un gen procedente de una especie totalmente distinta (una bacteria).
- b) A diferencia de la fumigación, donde el producto químico se esparce indiscriminadamente por todo el cultivo, el "Maíz Bt" sintetiza la toxina en sus propios tejidos. La ventaja medioambiental es que no contamina el suelo ni los acuíferos, y es altamente específico, afectando únicamente al insecto plaga que devora la planta, preservando a otros insectos polinizadores (ej. abejas).
- c) Nos estaríamos refiriendo a la Genómica. Es la disciplina que se encarga del mapeo, secuenciación y análisis exhaustivo de todos los genes y el material genético de un organismo.

RESPUESTA COMPETENCIAL 6

- a) El proceso es la fermentación alcohólica, realizada por levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*). El volumen aumenta porque en esta ruta anaerobia el piruvato se descarboxila liberando gas dióxido de carbono (CO₂). Este gas queda atrapado en la red de gluten de la masa, formando burbujas.
- b) Las bacterias lácticas realizan la fermentación láctica, cuyo producto final es el ácido láctico. Esta acumulación de ácido provoca una caída del pH del medio. La acidez altera los enlaces y fuerzas que mantienen la estructura tridimensional de las proteínas de la leche (caseína), provocando su desnaturalización y posterior coagulación, lo que otorga la textura sólida al yogur..