

BLOQUE V (E): INMUNOLOGÍA

Bloque F. Inmunología		
Saberes básicos del bloque	Resultados del aprendizaje	Concreción de los resultados de aprendizaje
F.1 Concepto de inmunidad.	F.1.1 Conocer el concepto de inmunidad y de sistema inmunitario.	Conocer la función de los siguientes componentes: médula ósea, bazo, timo, ganglios linfáticos, macrófagos, neutrófilos, linfocitos B, linfocitos T, células cebadas (mastocitos o basófilos), anticuerpos, interferón, interleucinas, citocinas y sistema del complemento.
	F.1.2 Conocer la naturaleza de antígenos y anticuerpos.	Comprender que los antígenos son sustancias heterogéneas mientras que los anticuerpos tienen una estructura molecular similar y actúan de forma específica frente a los antígenos.
F.2 Las barreras externas: su importancia al dificultar la entrada de patógenos.	F.2.1 Conocer las barreras externas del sistema inmunitario.	Conocer la barrera mecánica (piel y mucosas), química (secreción ácida, enzimática, moco, antibiótica) y biológica (microbiota). Evitar el uso del término "flora microbiana".
	F.2.2 Conocer el concepto de inflamación.	Conocer el concepto de inflamación y su naturaleza inespecífica. No es necesario conocer el proceso inflamatorio de forma exhaustiva, pero sí los mecanismos (vasodilatación, diapédesis, aumento de permeabilidad, etc.) que desencadenan las manifestaciones (edema, dolor, calor y rubor) de la inflamación.
F.3 Inmunidad innata y específica: diferencias.	F.3.1 Diferenciar entre inmunidad innata (inespecífica) y adquirida (específica).	Diferenciar la inmunidad innata (barreras externas, reacción inflamatoria, fagocitosis) de la adquirida (respuesta inmune humoral y celular), que permite generar memoria inmunitaria.
F.4 Inmunidad humoral y celular: mecanismos de acción.	F.4.1 Comprender los mecanismos de inmunidad humoral y celular y conocer las moléculas y células que intervienen en ellas.	Comprender la importancia de las respuestas inmunitarias humoral (producción de anticuerpos) y celular (activación de linfocitos T).
		Conocer la función de: macrófagos (células presentadoras de antígenos), linfocitos B, células plasmáticas, células de memoria, linfocitos T (linfocitos T cooperadores o helper, linfocitos T citotóxicos, linfocitos T reguladores), anticuerpos y Complejo Mayor de Histocompatibilidad (MHC).
		Identificar la estructura de los anticuerpos (región variable/parátipo, y región constante; cadenas pesadas y cadenas ligeras; puentes disulfuro). Conocer la función general de los anticuerpos.
		Conocer los tipos de anticuerpos, sus distintas funciones biológicas y localizaciones. Identificar sus diferentes estructuras moleculares básicas (por ejemplo, estructura dimérica de la IgA y pentamérica de la IgM). Saber que no todos los tipos de anticuerpos atraviesan la placenta (solo la IgG); que en las secreciones es mayoritario otro tipo (IgA), y el papel de las IgE en las alergias.
		Comprender la especificidad de la reacción antígeno-anticuerpo (unión epítipo-parátipo).
		Conocer los tipos de reacción antígeno-anticuerpo: aglutinación, precipitación, neutralización y opsonización.
		Conocer que, tras la inactivación del antígeno por el anticuerpo, este complejo es fagocitado por los macrófagos o neutrófilos.
	F.4.2. Respuestas primaria y secundaria. Memoria inmunológica.	Diferenciar entre respuesta inmunitaria primaria y secundaria.
		Conocer el concepto de memoria inmunológica.
		Conocer el cambio en los niveles de anticuerpos (de IgM a IgG) a lo largo de la respuesta inmune.
		Interpretar gráficas de respuesta inmune/inmunitaria.

Saberes básicos del bloque	Resultados del aprendizaje	Concreción de los resultados de aprendizaje
F.5 Inmunidad natural y artificial, pasiva y activa: mecanismos de funcionamiento.	F.5.1 Conocer los mecanismos de funcionamiento de la inmunidad natural y artificial y de la inmunidad pasiva y activa.	<p>Conocer el concepto de vacuna, su composición, mecanismo de acción y papel preventivo.</p> <p>Conocer que las vacunas producen respuesta tanto humoral (producción de anticuerpos) como celular (activación de linfocitos T).</p> <p>Conocer el concepto de suero, composición de un suero, mecanismo de acción y papel curativo.</p>
F.6 Enfermedades infecciosas: prevención, detección, fases y tratamiento.	F.6 Enfermedades infecciosas: prevención, detección, fases y tratamiento.	<p>Conocer las fases de progreso de una enfermedad infecciosa: incubación, desarrollo y convalecencia, relacionándolas con la respuesta inmunitaria. Entender que se puede producir contagio, aunque no haya síntomas.</p> <p>Diferenciar los tipos de tratamientos de distintas enfermedades infecciosas en función del tipo de agente patógeno (antibióticos, antivirales, etc.). Conocer su uso responsable para evitar la aparición de resistencias.</p>
F.7 Principales patologías del sistema inmunitario: enfermedades autoinmunes, síndromes de inmunodeficiencia y alergias. Causas y relevancia clínica.	F.7.1 Conocer los fenómenos de hipersensibilidad, autoinmunidad e inmunodeficiencia.	<p>Conocer los conceptos de hipersensibilidad, autoinmunidad e inmunodeficiencia (natural y adquirida), indicando al menos un ejemplo de cada uno (por ejemplo: de hipersensibilidad, las alergias; de inmunodeficiencia, los niños burbuja o el sida; de autoinmunidad, la esclerosis múltiple, ELA, lupus eritematoso o diabetes tipo I).</p> <p>Conocer el papel de los mastocitos, IgE e histamina en la reacción alérgica.</p>
	F.7.2 Conocer el concepto de trasplante y rechazo.	Conocer el concepto de trasplante, los tipos de trasplante (por la relación entre donante y receptor) y la causa del rechazo inmunológico.

EXPLICACIÓN DE LAS TABLAS ANTERIORES

Para cada bloque de contenidos se ha elaborado una tabla (ver anexo en este documento) que tiene tres columnas:

- La primera columna incluye los “**saberes básicos**”, según las especificaciones descritas por la normativa vigente sobre los contenidos del currículum de Biología de 2º de Bachillerato. A título orientativo se presenta un desarrollo de los principales temas, sin que la secuenciación propuesta conlleve que el profesorado deba ajustarse necesariamente a la misma.
- En la segunda columna se enumeran los “**resultados del aprendizaje**” que el alumnado debe obtener para cada uno de los bloques, según los criterios de la Ponencia.
- En la tercera columna “**concreción de los resultados de aprendizaje**” se exponen aclaraciones y detalles sobre aspectos que pudieran haber quedado poco claros en el punto anterior y cuya incidencia en la preparación de la prueba se considera relevante.

TEMA 18: EL SISTEMA INMUNITARIO

1.- EL SISTEMA INMUNITARIO. GENERALIDADES

2.- DEFENSAS DEL ORGANISMO

3.- DEFENSAS O MECANISMOS INESPECÍFICOS O INNATOS: BARRERAS PRIMARIAS U ORGÁNICAS O EXTERNAS (1ª LÍNEA DE DEFENSA)

4.- DEFENSAS O MECANISMOS INESPECÍFICOS O INNATOS: BARRERAS SECUNDARIAS (2ª LÍNEA DE DEFENSA)

- 4.1.- Inflamación (reacción inflamatoria)
- 4.2.- Células de defensa (Inmunocompetentes)
- 4.3.- Sustancias antimicrobianas: Complemento e interferón

5.- DEFENSAS O MECANISMOS ESPECÍFICOS O ADQUIRIDOS O ADAPTATIVOS (3ª LÍNEA DE DEFENSA)

- 5.1.- Inmunidad humoral (Linfocitos B)
- 5.2.- Inmunidad celular (Linfocitos T)

1.- EL SISTEMA INMUNITARIO. GENERALIDADES

Se entiende por **infección** la entrada y posterior proliferación de un microorganismo patógeno en el interior de un organismo. Como consecuencia se produce un estado de anormalidad que se denomina enfermedad infecciosa.

Cuando una enfermedad infecciosa se transmite fácilmente de un individuo a otro, se denomina enfermedad contagiosa. La mayoría de las enfermedades infecciosas son a la vez contagiosas, pero existen otras que no lo son.

Para conservar su identidad biológica, todos los seres vivos cuentan con una serie de complejos mecanismos defensivos que, en conjunto, reciben el nombre de **sistema inmunitario**. Estos les permiten protegerse de infecciones microbianas y rechazar moléculas extrañas a su organismo o moléculas propias que no son reconocidas como tales al sufrir algún tipo de modificación.

El funcionamiento del sistema inmunitario de todos los seres vivos se basa en su capacidad para reconocer moléculas extrañas al propio organismo (antígenos) y poner en marcha los mecanismos adecuados para eliminarlos o neutralizar su acción.

En la respuesta inmune participan múltiples tejidos, células y moléculas de manera coordinada.

El **sistema inmunitario** está formado por un conjunto de órganos, células y moléculas dispersos por todo el organismo que son responsables de su defensa frente a las sustancias extrañas procedentes, tanto del exterior como del interior. La respuesta frente a estas sustancias extrañas, llamadas antígenos, se denomina respuesta inmunitaria.

La **Inmunología** estudia todos los mecanismos fisiológicos que se encargan de defender la integridad biológica del organismo. Estos mecanismos consisten esencialmente en la identificación de lo extraño y en su destrucción. Por lo tanto, la **inmunología** se ocupa de los

mecanismos de defensa frente a las infecciones: defensas del organismo, defensas inespecíficas (inmunidad innata) y defensas específicas (inmunidad adquirida).

Es importante comprender una serie de conceptos:

- **Antígeno:** son las moléculas ajenas a un organismo, que son reconocidas como tales y desencadenan en él una respuesta inmunitaria.
- **Anticuerpo:** son las moléculas con acción inmunitaria sintetizadas contra los antígenos.
- **Respuesta o Inmunidad celular:** es la respuesta inmunitaria llevada a cabo por células que no producen anticuerpos, como los fagocitos y linfocitos T.
- **Respuesta o Inmunidad humoral:** Es el conjunto de mecanismos inmunitarios en los que intervienen proteínas específicas fabricadas contra los antígenos extraños que se difunden por los fluidos del organismo, como los linfocitos B, y el complemento.

2.- DEFENSAS DEL ORGANISMO

El sistema inmune se activa en respuesta a la invasión del organismo por agentes extraños a él. Sin embargo, antes de que se pongan en marcha estos mecanismos defensivos, los seres vivos cuentan con un sistema organizado y jerarquizado de defensas que protege al organismo de los procesos infectivos.

▪ MECANISMOS INESPECÍFICOS (INMUNIDAD INNATA)

✚ Barreras Primarias u Orgánicas (1ª Línea de defensa)

- Estructurales: Piel – Mucosas
- Mecánicas: mucus – orina
- Bioquímicas: lisozima – ácidos grasos y ácido láctico – jugo gástrico
- Ecológicas: flora bacteriana

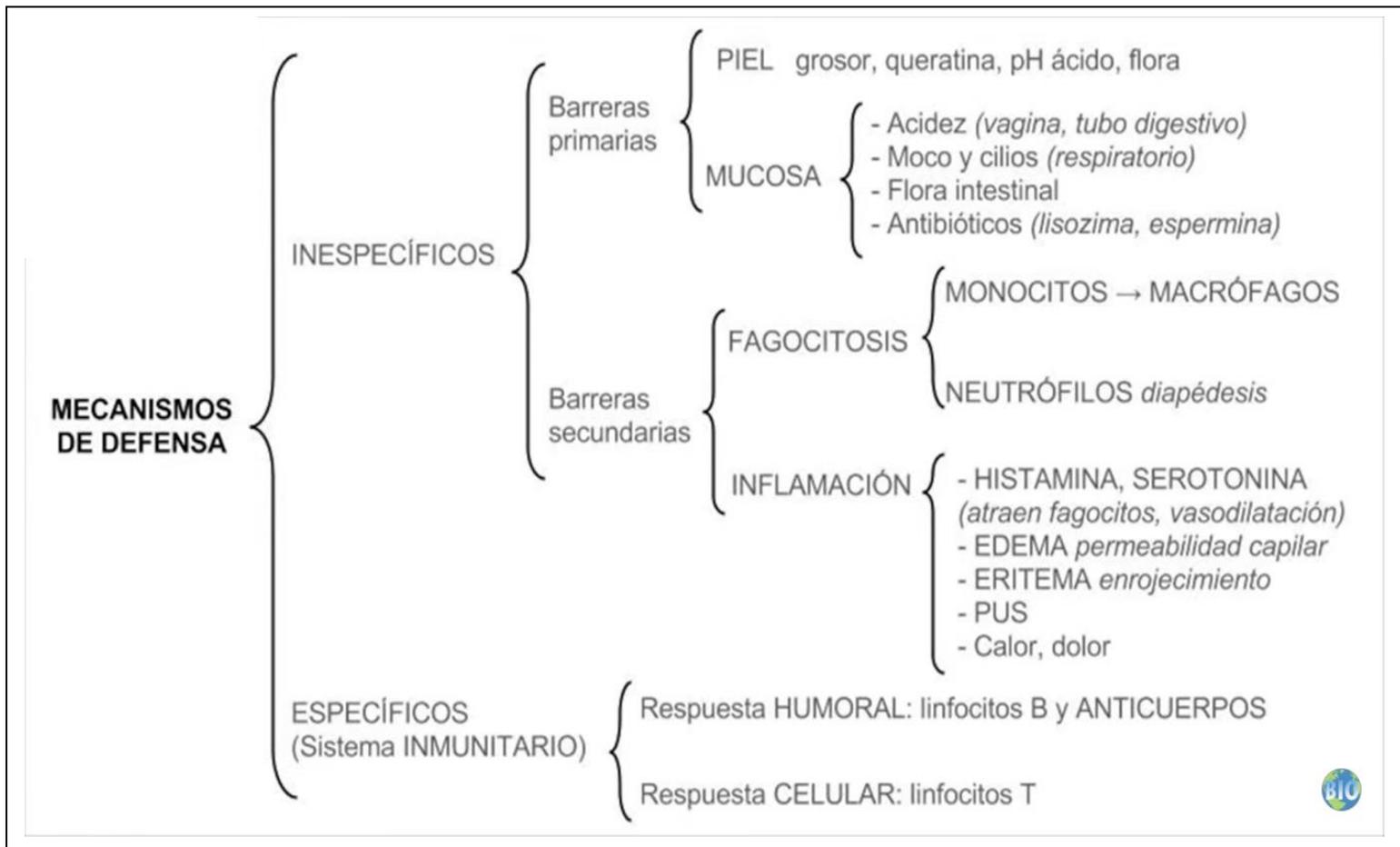
✚ Barreras Secundarias (2ª Línea de defensa)

- Respuesta inflamatoria
- Fagocitosis (células fagocitarias: monocitos – macrófagos – neutrófilos – histiocitos – células dendríticas)
- Moléculas: sistema del complemento – interferón – interleucinas – citocinas – complejo mayor de histocompatibilidad

▪ MECANISMOS ESPECÍFICOS (INMUNIDAD ADQUIRIDA O ADAPTATIVA)

✚ Sistema inmune o Inmunitario (3ª Línea de defensa)

- Respuesta Inmune Celular: Linfocitos T
- Respuesta Inmune Humoral: Linfocitos B (generan Anticuerpos)



3.- DEFENSAS O MECANISMOS INESPECÍFICOS O INNATOS: BARRERAS PRIMARIAS U ORGÁNICAS O EXTERNAS (1ª LÍNEA DE DEFENSA)

Existen cuatro tipos de barreras pasivas o defensas externas:

- **Estructurales:** piel y mucosas que cubren la superficie corporal externa y las cavidades digestivas y respiratorias (abiertas al exterior), respectivamente. Una de las vías de acceso más frecuente de los patógenos se produce cuando estas estructuras se rompen o son destruidas por causas diversas (heridas, quemaduras, ulceraciones...). **Efecto barrera de la piel por su capa de queratina en continua descamación que evita que los microorganismos se “asienten”. Las glándulas sebáceas y el sudor le dan un pH algo ácido. También protegen las escamas, pelos, plumas,...**
- **Mecánicas:** consisten en sistemas de expulsión que favorecen el arrastre de los microorganismos y otras partículas extrañas para evitar su fijación al organismo. Los cilios que tapizan las vías respiratorias, cuyo movimiento elimina los microorganismos y otros elementos adheridos al mucus que los cubre. El flujo de orina desde la vejiga hacia el exterior y el movimiento intestinal favorecen el arrastre y la eliminación de microorganismos. **Flujo de orina. Movimiento intestinal. Cilios con mucus de la vías respiratorias. Mucosas de los orificios naturales: engloban y expulsan partículas. Es capaz de engañar a los virus.**
- **Bioquímicas:** algunas sustancias y secreciones actúan como barrera protectora contrarrestando o neutralizando la acción de determinados agentes patógenos. Destacan
 - La lisozima, enzima presente en la saliva, lágrimas y en la orina de la mujer embarazada, que rompe la pared bacteriana de mureína.
 - Los ácidos grasos y el ácido láctico, segregados por las glándulas sebáceas de la piel, que al producir un descenso del pH impiden el crecimiento de muchos microorganismos.
 - El jugo gástrico, que gracias al ácido clorhídrico que contiene, protege el estómago de los microorganismos que pudieran encontrarse en los alimentos.

En la saliva, las lágrimas y en secreción nasal existe una enzima, la lisozima capaz de destruir la mureína de la pared bacteriana. Las secreciones ácidas del epitelio vaginal y de los conductos digestivos forman un ambiente desfavorable para la vida de los microorganismos. En las mucosas respiratorias, las partículas extrañas y los microorganismos quedan atrapados por el mucus y son eliminados por los movimientos ciliares y por la tos y el estornudo.

Saliva y lágrimas: lisozima (enzima bactericida). Efecto de lavado.

Semen: espermina. Vagina: sustancias ácidas.

El estómago tiene un pH muy ácido. Defensinas (péptidos antibacterianos) del intestino.

Cerumen del oído.

Transferrina y lactoferrina: proteínas que captan y transportan Fe.

- **Ecológicas:** tanto en la superficie externa del organismo como en los aparatos digestivo y respiratorio, existe una biota normal que compite con microorganismo potencialmente patógeno, impidiendo su entrada.

Microorganismos no patógenos (ej.: bacterias de la piel y de la flora intestinal) que compiten con los patógenos.

Únicamente cuando estas barreras se franquean por alguna razón, y el elemento invasor penetra en los tejidos del organismo, este pone en marcha un segundo y eficaz sistema de defensas: **las defensas internas (sistema inmunitario)**, que se dividen en dos grandes grupos: defensas inespecíficas (actúan de manera indiscriminada ante cualquier estructura antigénica) y defensas específicas (que actúan selectivamente contra antígenos concretos).

4.- DEFENSAS O MECANISMOS INESPECÍFICOS O INNATOS: BARRERAS SECUNDARIAS (2ª LÍNEA DE DEFENSA)

Cuando los microorganismos patógenos o cualquier sustancia extraña, atraviesan las barreras anteriores (barreras defensivas primarias) y penetran en el interior del organismo, se encuentran una segunda línea defensiva, constituida por un conjunto de células con capacidad fagocítica denominadas **fagocitos**.

Los **fagocitos** son células con capacidad fagocitaria, que pueden destruir microorganismos y células envejecidas, englobándolas con sus pseudópodos para luego digerirlas en el citoplasma, que tiene abundantes lisosomas. Existen dos tipos diferentes de células fagocitarias:

- Los leucocitos neutrófilos, también llamados micrófagos, son los más abundantes. Acuden al lugar de la infección atravesando la pared de los capilares sanguíneos (diapédesis), para llegar a los tejidos y fagocitar a los gérmenes patógenos.
- Los **monocitos**, que después de permanecer varios días en la sangre, migran a diferentes tejidos (del hígado, bazo, pulmones, médula ósea, ...) y se transforman en células más grandes y con mayor capacidad fagocítica, los denominados **macrófagos**, que pueden desplazarse libremente o permanecer fijos. En este último caso se denominan **histiocitos**.

Cuando la piel se rompe (herida) y los gérmenes llegan a las células internas del organismo, éstas liberan unas sustancias llamadas mediadoras de la inflamación, y son responsables de la respuesta inflamatoria.

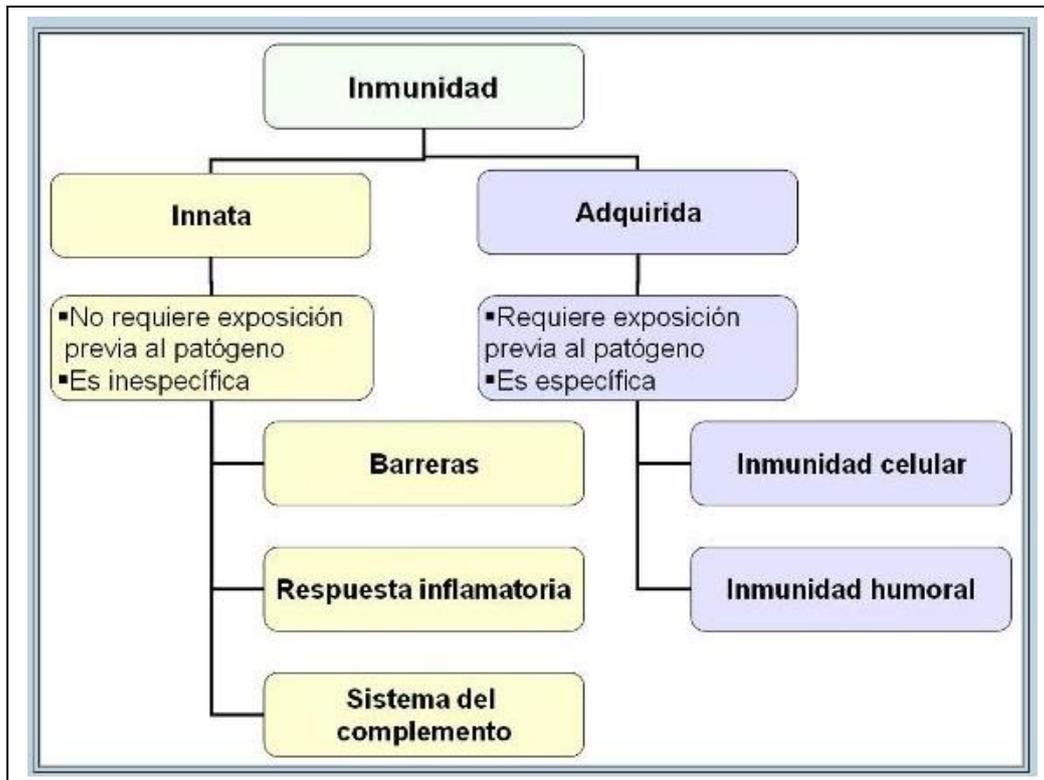
De forma general, la **respuesta inflamatoria** consiste en una vasodilatación (con lo que llega más sangre y, por tanto, más fagocitos a la zona infectada) y un aumento de la permeabilidad de los capilares sanguíneos, lo que facilita la salida de plasma y células sanguíneas.

Todo ello trae consigo un aumento de la temperatura en esa zona, enrojecimiento, hinchazón y dolor, provocado este último por la excitación de las terminaciones nerviosas. Muchos fagocitos mueren reventados por la cantidad de gérmenes fagocitados, constituyendo lo que llamamos "pus".

Si la infección es fuerte se pueden producir sustancias pirogénicas que hacen aumentar la temperatura corporal, causando la fiebre. Esta favorece la movilidad de los leucocitos, al tiempo que dificulta el desarrollo de las bacterias alejadas de su temperatura óptima de crecimiento

Como la Inmunología se encarga del estudio de la defensa del organismo, antes de pasar a ver cada una de ellas, veremos un cuadro esquemático que las clasifica y diferencia.

CLASIFICACIÓN DE LAS BARRERAS DE DEFENSA HUMANAS		
Primarias	Secundarias (glóbulos blancos)	Terciarias (glóbulos blancos)
Piel	Macrófagos	Linfocitos T
Mucosas	Monocitos	Linfocitos B
	Polimorfonucleares	



La estrategia de las defensas inespecíficas no consiste en reconocer cada patógeno en particular, sino en reconocer un grupo de patógenos. Por ello todos los individuos de una misma especie nacen con la capacidad innata e inmediata de reconocer y destruir numerosos microorganismos con los que no hemos entrado en contacto previamente.

La inmunidad innata constituye la segunda línea defensiva del organismo. Actúa contra cualquier sustancia o agente extraño que logra penetrar dentro del organismo, por consiguiente, es inespecífico, por tanto, capaz de combatir la infección desde el mismo momento de su inicio y durante sus primeras fases con gran eficacia. (Aproximadamente de 0-5 días)

Este sistema defensivo comprende cuatro tipos de defensas inespecíficas: la inflamación, los fagocitos, el complemento y, si el agente invasor es un virus o células alteradas del propio organismo (tumoraes), el interferón.

▪ 4.1.- Inflamación (reacción inflamatoria)

Cuando una estructura extraña consigue atravesar las barreras pasivas (externas) de un ser vivo, el organismo invadido reacciona rápidamente poniendo en marcha la **respuesta inflamatoria**, que, a su vez, activa y coordina las otras defensas inespecíficas.

El proceso inflamatorio es un sistema muy eficaz para preparar el conjunto de mecanismos de respuesta que se desencadenarán al penetrar en el organismo un agente antígeno invasor.

La reacción inflamatoria inflamación (de “*inflammata*” que significa *encender, hacer fuego*) es un mecanismo inespecífico, local y agudo o crónico que aparece cuando hay rotura celular e invasión de patógenos a través de las defensas externas del organismo, y tiene por finalidad aislar, inactivar y destruir a los agentes agresores y restaurar las zonas dañadas. Solo ocurre en tejidos conectivos vascularizados.

Las células que intervienen son principalmente los **fagocitos** que se activan ante la entrada de un agente extraño y fagocitan a los invasores muriendo muchos de ellos en el proceso.

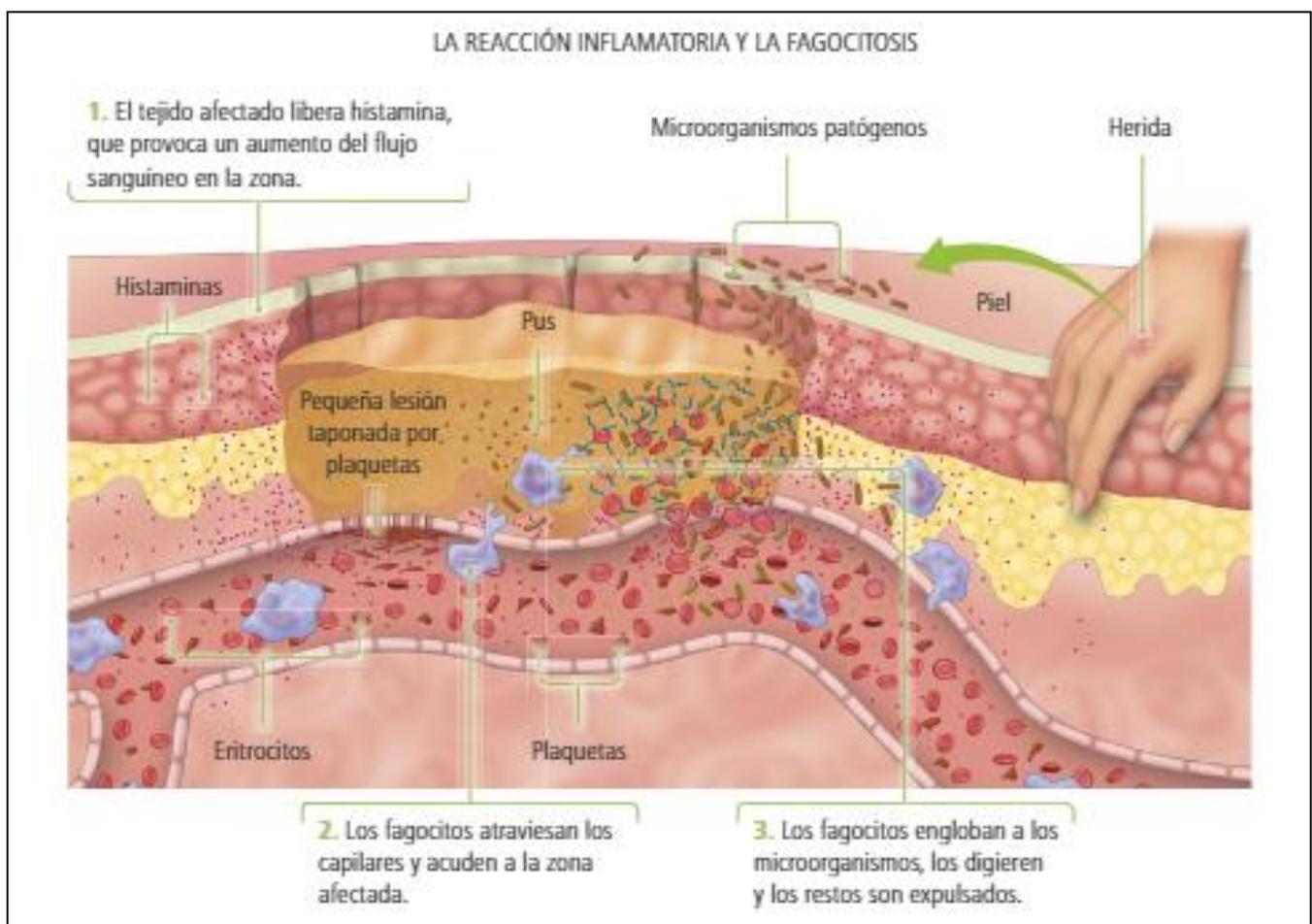
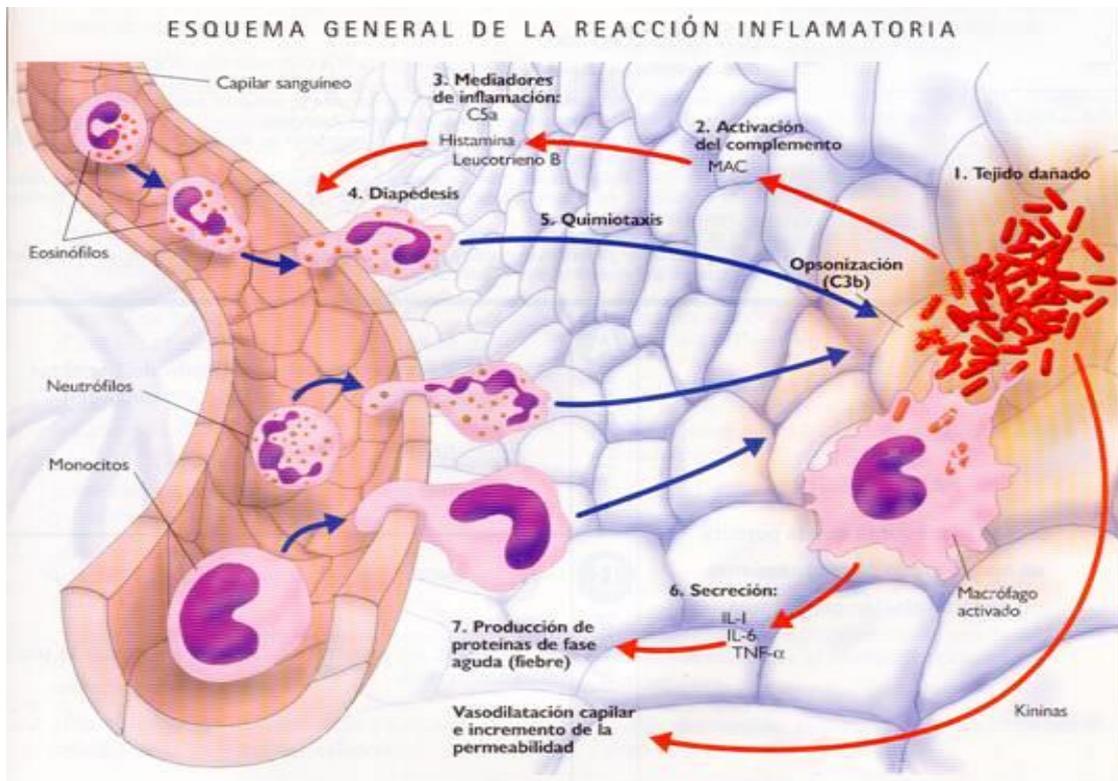
Los **síntomas característicos de la inflamación** son: ***Rubor et tumor cum calore et dolore***, es decir: enrojecimiento (rubor), tumefacción (hinchazón), calor y dolor en la zona afectada.

- Rubor o enrojecimiento: debido principalmente a los procesos de vasodilatación sanguínea
- Tumefacción o hinchazón: por aumento del líquido intersticial y formación de un edema
- Calor: por aumento de la temperatura de la zona inflamada (se debe a la vasodilatación y al incremento del consumo local de oxígeno)
- Dolor: que aparece como consecuencia de la liberación de sustancias como las prostaglandinas que excitan las terminaciones nerviosas de la zona.

El proceso se lleva a cabo en cuatro etapas:

- Producción de un estímulo: entrada de un microorganismo o de una sustancia tóxica, aunque a veces puede tratarse de un traumatismo (golpe)
- Las células lesionadas liberan **mediadores de la inflamación**, entre los que destacan: factor de estimulación de la leucocitosis, leucotrienos, histamina, prostaglandinas E y serotonina entre otras.
- Estos mediadores de la inflamación actúan sobre los capilares de la zona afectada causando:
 - Aumento de la cantidad de leucocitos circulantes en la sangre
 - **Vasodilatación**
 - Aumento de la **permeabilidad capilar**
 - Activación de los fagocitos
 - Quimiotactismo sobre estos
- Aparición de las consecuencias de los efectos anteriores:
 - Presencia de un número mayor de número de leucocitos.
 - Mayor riego sanguíneo de la zona afectada, por tanto, mayor afluencia de elementos defensivos.
 - El aumento de permeabilidad de los capilares favorece la salida de fagocitos, anticuerpos... hacia los tejidos infectados, favoreciendo el proceso de **diapédesis** (salida de los fagocitos de los capilares sanguíneos mediante separación de las células endoteliales que los forman).
 - La activación hace que los fagocitos sean más eficaces.
 - El quimiotactismo atrae hacia el lugar de la infección gran cantidad de fagocitos.

Como hemos visto, la respuesta inflamatoria facilita la llegada de las células (fagocitos) y de las moléculas (anticuerpos y componentes del complemento) que actuarán sobre el microorganismo invasor.



▪ 4.2.- Células de defensa (Inmunocompetentes)

La manera más intuitiva de deshacerse de un patógeno es ingiriéndolo, y esto es precisamente lo que hacen los fagocitos. Los **fagocitos** son solo un tipo de leucocitos, de los que existen dos grupos: los que componen la serie mieloide y los que constituyen la serie linfoide.

- **Los leucocitos de la serie o línea meiloide o de fagocitos:** constituida por células que participan principalmente en la respuesta inmune innata o no específica, durante las primeras etapas de la infección. Son células que se forman en la médula ósea, tienen pseudópodos y capacidad de fagocitosis.

Dentro de esta serie destacan:

- **Granulocitos polimorfonucleares.** Poseen gránulos citoplasmáticos y un núcleo polilobulado. En los gránulos almacenan enzimas y compuestos químicos antimicrobianos y se dividen en: basófilos, neutrófilos y eosinófilos.
 - **Neutrófilos o micrófagos:** Son los más abundantes de todos los leucocitos, su principal función es fagocitar restos celulares y bacterias mediante pseudópodos. Poseen núcleo lobulado. Los tejidos infectados liberan sustancias que los atraen, y también son capaces de abandonar los vasos sanguíneos (diapédesis) y desplazarse con movimientos ameboides hacia las zonas donde se ha producido la infección. Intervienen en la inflamación y colaboran con los macrófagos.
 - **Basófilos:** se tiñen con colorantes básicos, no son fagocitos (no fagocitan), sus gránulos están cargados de histamina, heparina (anticoagulante), serotonina y actúan en procesos inflamatorios y alergias. La histamina aumenta la permeabilidad de los vasos sanguíneos facilitando la inflamación y atracción de leucocitos al lugar.
 - **Eosinófilos:** se tiñen con colorantes ácidos, actúan en alergias y en infecciones de gusanos endoparásitos (infestaciones contra helmintos, parasitosis), presentan escasa actividad fagocítica.
- **Monocitos.** Son leucocitos de núcleo grande sin granulaciones citoplasmáticas y con forma de herradura, con gran cantidad de lisosomas. Se desarrollan en la médula ósea y maduran en la sangre. Abandonan el torrente sanguíneo hacia los órganos y tejidos (diapédesis). Aumentan su capacidad fagocítica y se transforman en macrófagos.
- **Macrófagos** son células de gran tamaño, y con una enorme capacidad de fagocitar. Presentan gran cantidad de lisosomas. Éstos pueden desplazarse libremente o permanecer fijos (**histiocitos**). Aunque se encuentran en casi todos los tejidos y órganos del cuerpo (permaneciendo a la espera de tener que entrar en acción), en mayor número se localizan en alvéolos pulmonares, bazo, hígado y piel. Los macrófagos intervienen en la respuesta inespecífica fagocitando partículas extrañas y células propias dañadas. Además, tienen función secretora y producen citocinas que activan a otras células, e intervienen en la respuesta específica como células presentadoras de antígenos.

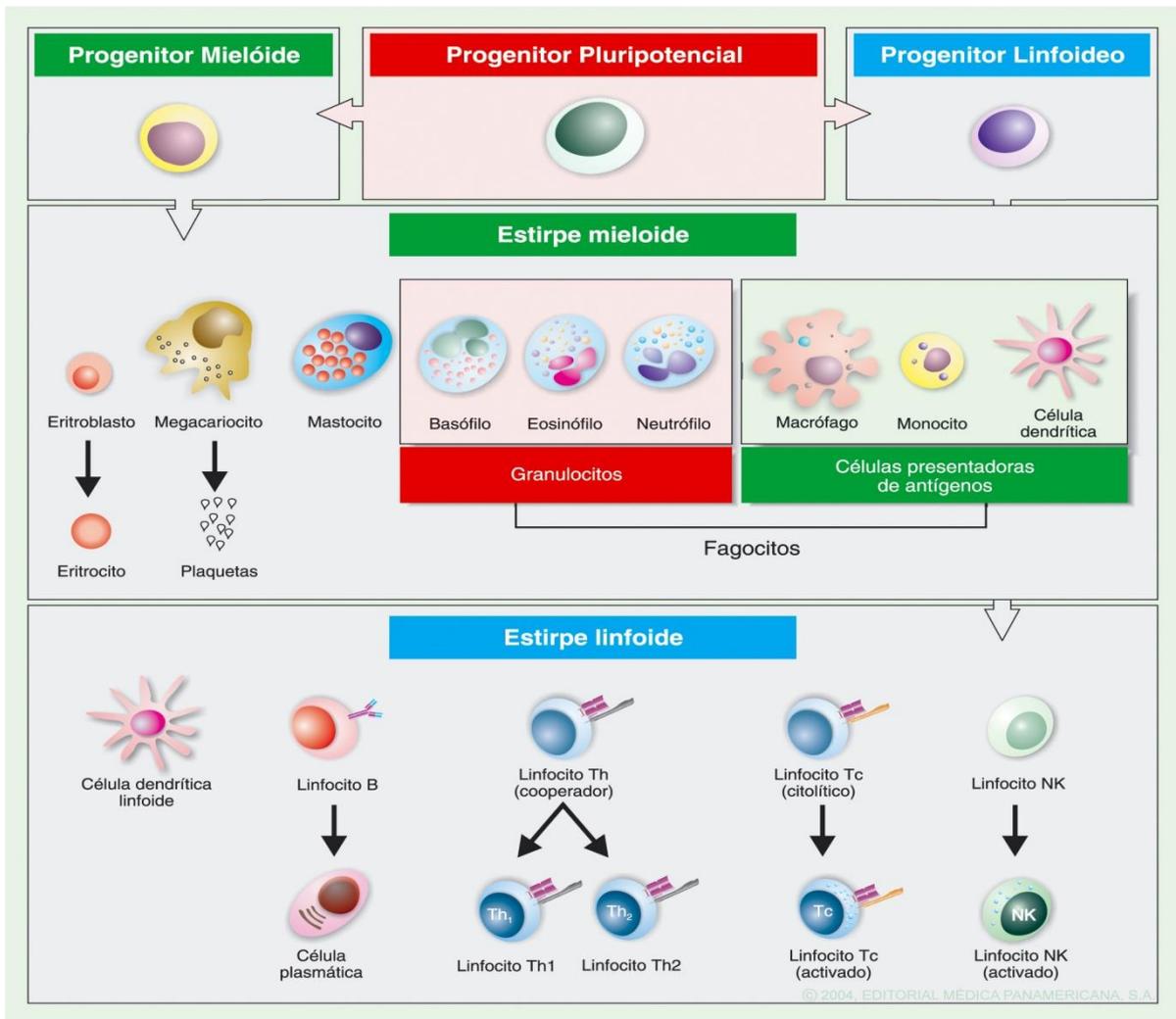
- **Histiocitos:** son un tipo especial de macrófagos del tejido conjuntivo. Su capacidad para fagocitar es limitada y son sustituidos enseguida por los neutrófilos, que llegan desde la sangre. No se desplazan.
- **Mastocitos o células cebadas:** son células similares a los basófilos pero con un núcleo sencillo. Se encuentran en el tejido conectivo y en las mucosas, y participan en la liberación de mediadores inflamatorios (histamina y heparina).
- **Células dendríticas:** reciben su nombre de las proyecciones ramificadas que desarrollan al madurar y que recuerdan a las dendritas de las neuronas. Son muy eficaces en la fagocitosis. Junto con macrófagos, son capaces, tras procesar el material fagocitado, de devolverlo a su membrana celular y presentarlo a los linfocitos especializados, es decir, actúan como células presentadoras de antígeno (actúan de vínculo entre el sistema inmune inespecífico y específico). Se encuentran en los tejidos que están en contacto con el medio externo (piel, mucosa nasal, pulmones, estómago e intestinos).
- **Los leucocitos de la serie o línea linfoide** son los **linfocitos**. No tienen capacidad fagocítica, son las células por excelencia que participan en la respuesta inmune específica adquirida o adaptativa, y desempeñan un papel fundamental en la lucha contra los antígenos invasores produciendo anticuerpos específicos.

Existen tres tipos de linfocitos:

- **Linfocitos B.** Sintetizan proteínas específicas (anticuerpos) ante la presencia de antígenos. Dado que la mayoría de estos anticuerpos pueden difundirse por los líquidos orgánicos, la **inmunidad** que producen se denomina **humoral** (de humor, "líquido"). Se originan y maduran en la médula ósea.
- **Linfocitos T:** no producen anticuerpos, sino que provocan la muerte de ciertas células alteradas, y por tanto, no deseadas (células diana). Son los responsables de la **inmunidad celular**. Se originan en la médula ósea, pero maduran en el timo.
- **Linfocitos no-B no-T:** son células minoritarias (representan menos del 3 % del total de linfocitos), destruyen células diana, pero de una forma inespecífica.
 - **Células K o células asesinas**
 - **Células NK o células asesinas naturales (natural Killer)**

Por sus características morfológicas, este último grupo se incluye en esta línea linfoide, pero actúan en la respuesta inmune innata o inespecífica.

Hablaremos con más profundidad de las células de esta línea linfoide en cada una de las respuestas inmunes específicas.



Todas las células que realizan la **fagocitosis (Fagocitos)** realizan dos funciones muy importantes:

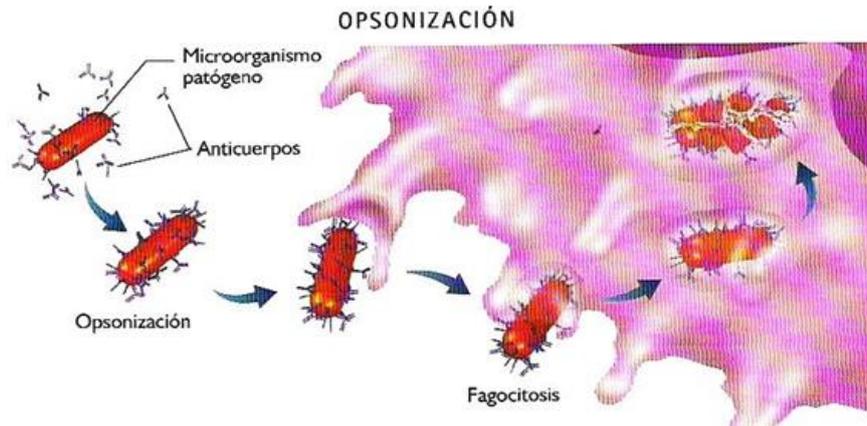
- **La fagocitosis:** la llevan a cabo los histiocitos (monocitos que no se desplazan), neutrófilos, y macrófagos y células dendríticas por este orden. Los primeros son los de menor capacidad fagocítica.

La fagocitosis se divide en cuatro etapas:

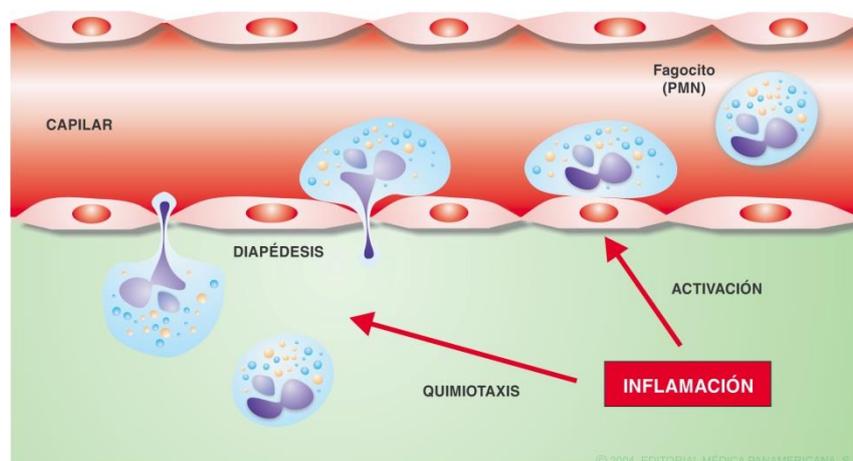
- 1.- Unión al elemento que va a ser fagocitado mediante receptores glucoproteicos de la membrana. Esta unión es favorecida por moléculas de opsonina, que sirven como puentes moleculares entre receptores del fagocito y la pared bacteriana (**opsonización** = microorganismos recubiertos de anticuerpos)
- 2.- Ingestión por medio de la emisión de pseudópodos, dando lugar a un fagosoma.
- 3.- Muerte y digestión intracelular del microorganismo por la acción de enzimas digestivas y oxidantes de los lisosomas.
- 4.- Expulsión de los restos no digeridos

El conjunto de restos bacterianos, fagocitos, y otras células muertas constituye el **pus**, que supura (que se emite) en las heridas infectadas.

Dicho de otra forma: Los microorganismos o las partículas antigénicas son fagocitados más ávidamente por los fagocitos sanguíneos cuando tienen unidas a su superficie moléculas de anticuerpos. Los microorganismos que están recubiertos de anticuerpos se dice que están **opsonizados** (del griego “opson”: listo para comerse). **Opsonización:** Es el fenómeno por el cual los anticuerpos que envuelven un antígeno (bacteria, virus, etc) activan la fagocitosis mediante los receptores Fc de los macrófagos, neutrófilos o polimorfonucleares.



- **La desgranulación:** consiste en liberar productos tóxicos para los microorganismos invasores. La llevan a cabo los eosinófilos, y es fundamental para combatir agentes patógenos, que por su gran tamaño no pueden ser fagocitados (los parásitos, tipo helmintos).



▪ 4.3.- Sustancias antimicrobianas: Complemento e interferón

○ El Sistema del Complemento

El **complemento** es un sistema de unas 20 proteínas (moléculas del tipo de las globulinas, C1 – C2 – C3...) presente en el plasma sanguíneo, cuya función defensiva se lleva a cabo con gran rapidez. La denominación de "complemento" deriva de la capacidad de complementar y potenciar la acción de los anticuerpos en la respuesta inmune humoral. Consta de un conjunto

de moléculas plasmáticas implicadas en una danza bioquímica coordinada, ya que la interacción de unos componentes con otros provoca una serie de reacciones en cadena (en cascada), de modo que el producto de una reacción es el sustrato de la siguiente. Este sistema desempeña tres funciones importantes:

- 1- **Actúa como mediador de la inflamación (potencia la respuesta inflamatoria).** Esta acción se realiza mediante los componentes C3a y C5a, lo que provoca un aumento de la dilatación y la permeabilidad, facilitando la llegada de leucocitos al lugar en el que se ha producido la infección.
- 2- **Facilita la fagocitosis,** señalando células extrañas (opsonización) para propiciar la acción a los fagocitos y anticuerpo. El componente C3b es el más importante en este proceso. Esta función es fundamental en el caso de algunas bacterias con cápsula que son resistentes a la fijación directa de los fagocitos.
- 3- **Provoca la lisis de las células invasoras por rotura de membrana plasmática,** a la que se fijan complejos formados por varios de sus componentes.

A las proteínas del complemento se las llama con frecuencia “factores humorales inespecíficos”, porque actúan contra cualquier patógeno de dos maneras diferentes. Para llevar a cabo estas acciones debe producirse antes la activación del complemento, que consiste en la interacción de unos componentes con otros por medio de reacciones en cascada, de manera que el producto final de una de ellas actúa como enzima en la siguiente.

El proceso de activación del complemento puede iniciarse de dos formas:

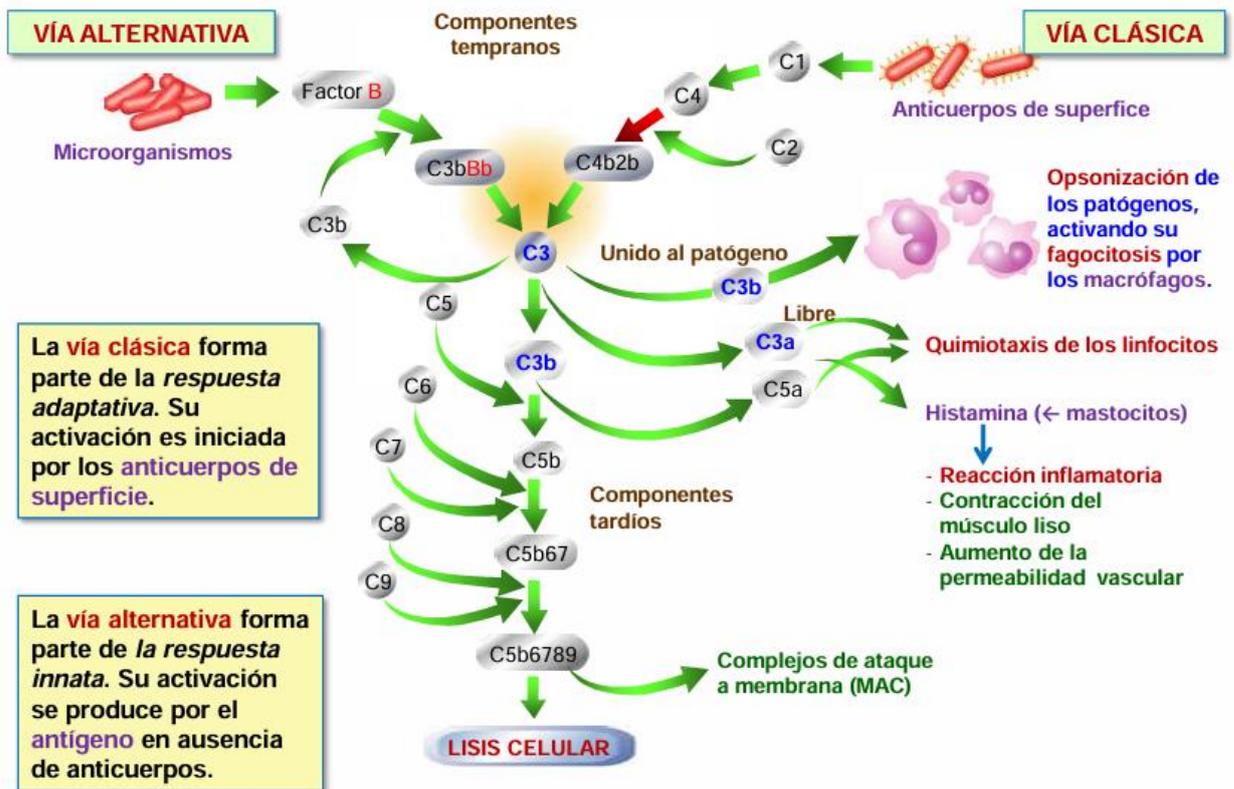
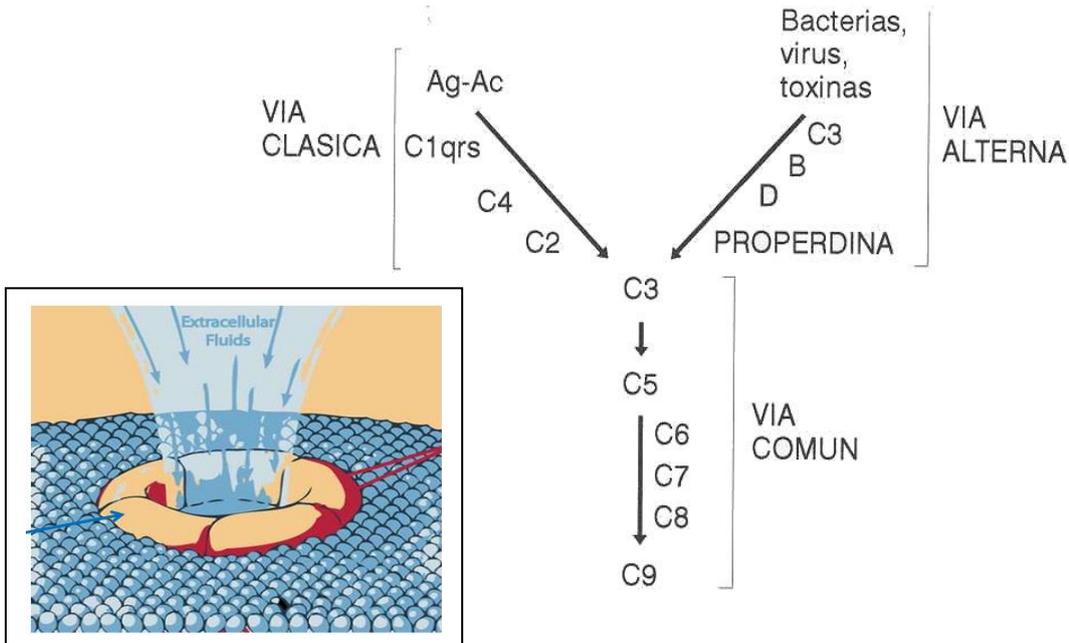
- ✓ Vía clásica: la activación del complemento se produce por la aparición de anticuerpos unidos a los antígenos correspondientes (Ag - Ac) en la superficie de los microorganismos, provocando su lisis. Este sistema, que requiere una **respuesta inmune específica previa**, se pone en funcionamiento cuando una de las proteínas del sistema del complemento es fijado por un complejo Ag - Ac. Esto genera una serie de activaciones en cadena de las restantes proteínas que conduce finalmente a la formación de una **proteasa**. La proteasa produce poros en la membrana del microorganismo, por estos poros salen al exterior moléculas citoplasmáticas del microorganismo y al mismo tiempo entra el agua extracelular provocando su hinchamiento y destrucción o lisis. Intervienen los componentes C1 - C4 - C2
- ✓ Vía alternativa: en ella no es necesaria la presencia de anticuerpos, por lo que es importante en las primeras etapas de la infección, cuando aún no se han producido estos. La activación de desencadena al unirse algunos componentes del complemento a polisacáridos que se encuentran en la superficie de las bacterias. Interviene factores B - D - properdina y componente C3.

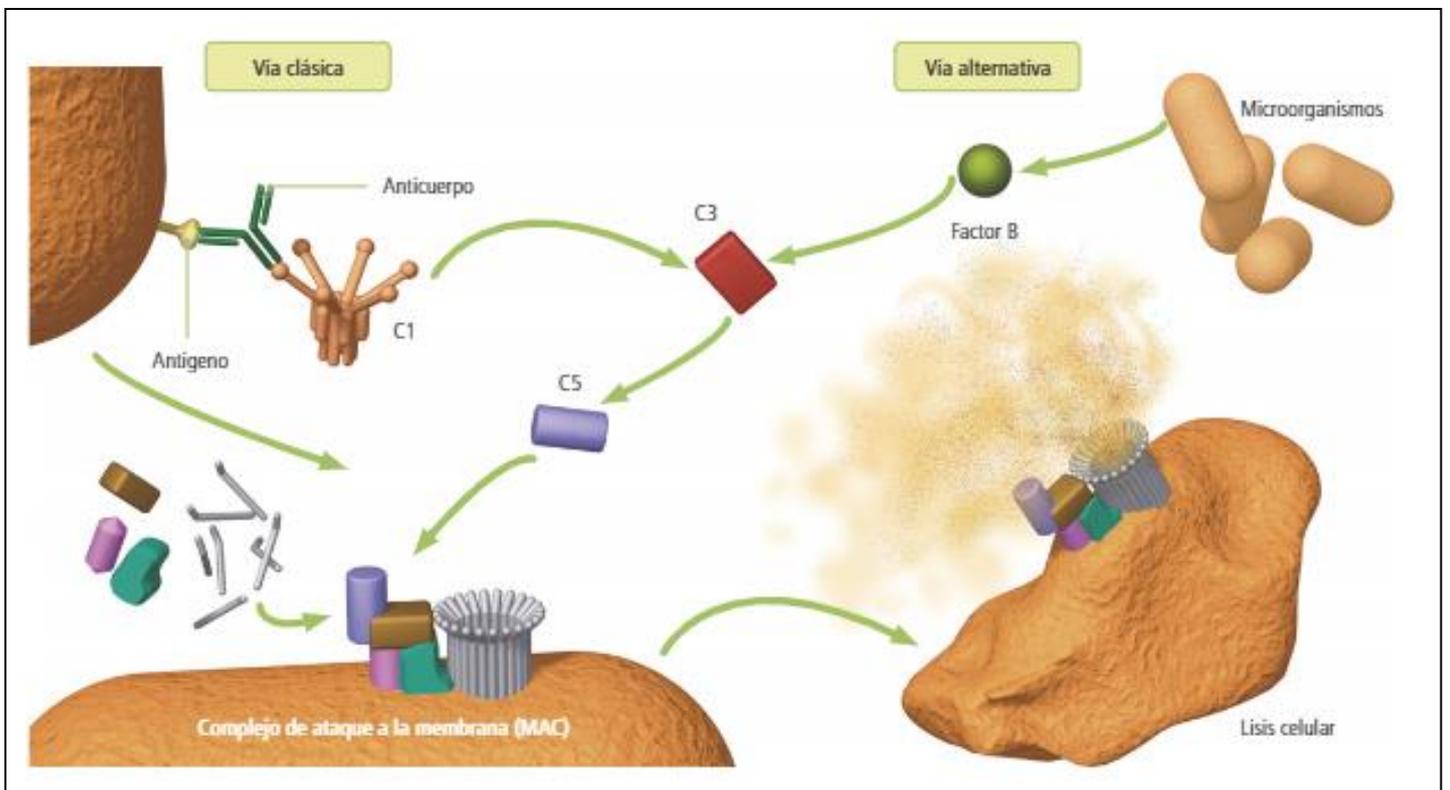
La activación del complemento provoca la escisión o separación del componente C3 en dos subunidades, C3a (mediador de la inflamación) y C3b (es una opsonina).

Además de su función como opsonina, el componente C3b desencadena el proceso denominado vía terminal o común del complemento, en el que el componente C5 se escinde dando lugar a C5a (otro mediador de la inflamación) y al C5b. A partir de C5b, y tras varias etapas en las que se van activando y uniendo distintos componentes, se

origina un complejo proteico (compuesto por 14 moléculas del componente C9) que se adhiere a la membrana bacteriana, y forma un canal que la perfora (es el complejo de ataque a la membrana o MAC). Como consecuencia, se produce la lisis celular.

La vía terminal del complemento participa también en la eritrolisis (rotura de la membrana de los glóbulos rojos) producida por incompatibilidad entre diferentes grupos sanguíneos tanto del sistema ABO como del sistema Rh.





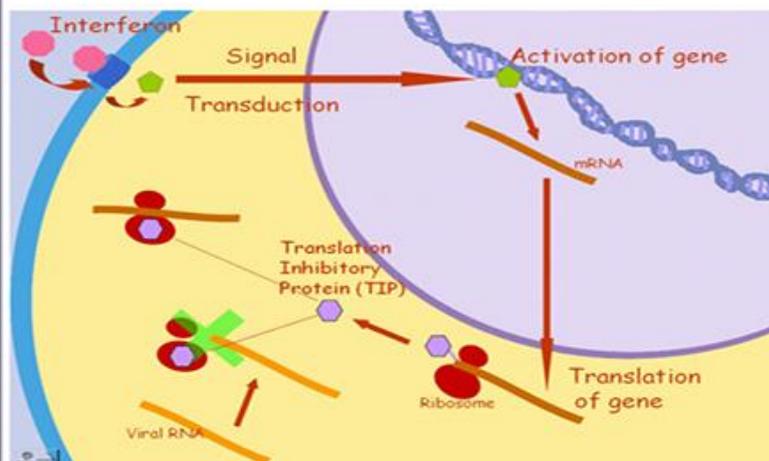
○ El interferón

Son moléculas de naturaleza proteica segregadas por las células infectadas por virus, que, captadas por las células adyacentes, las estimulan a sintetizar enzimas antivirales evitando la proliferación viral, inhibiendo la replicación del genoma vírico, inhibiendo la síntesis de proteínas o activando a las células NK para destruir a las células infectadas.

El interferón lleva a cabo cuatro funciones básicas:

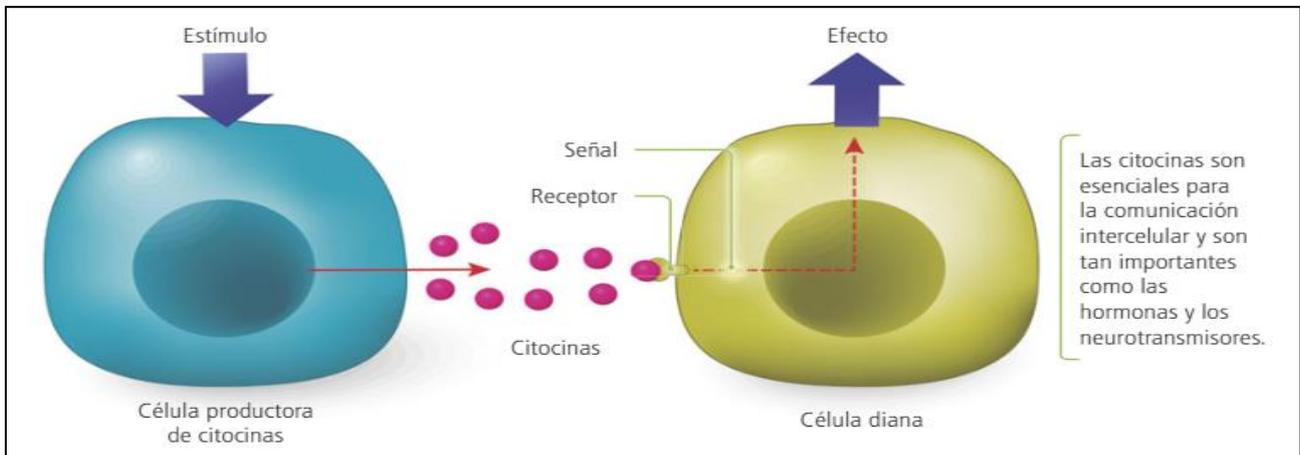
- 1- Impide la replicación del virus en células infectadas que aún no han sido destruidas por la acción vírica.
- 2- Activa unos linfocitos denominadas células NK (natural killer), capaces de reconocer células infectadas por virus o células cancerosas y eliminarlas.
- 3- Activan a los macrófagos y linfocitos B
- 4- Modulan la síntesis de anticuerpos y de otras sustancias reguladoras

Interferón: Son moléculas de naturaleza proteica segregadas por las células infectadas por virus, que captadas por las células adyacentes, las estimulan a sintetizar enzimas antivirales evitando la proliferación viral, inhibiendo la replicación del genoma vírico, inhibiendo la síntesis de proteínas o activando a las células NK para destruir a las células infectadas.



○ Citocinas o citoquinas:

Son proteínas reguladoras que median entre las células del sistema inmunitario, desencadenando respuestas en otras células que contribuyen a la defensa del organismo. Las citocinas son producidas fundamentalmente por los linfocitos y los macrófagos, aunque también pueden ser producidas por otras células del cuerpo en respuesta a la infección. Su acción fundamental consiste en la regulación del mecanismo de la inflamación.



Entre las citocinas más importantes se encuentran:

- ✓ Interferón (ya estudiado)
- ✓ Interleucinas: son moléculas sintetizadas por monocitos o macrófagos tras identificar antígenos bacterianos o virales. Provocan un aumento de la permeabilidad de los capilares sanguíneos en la zona de infección, favoreciendo la respuesta inflamatoria. Activan linfocitos T y B y células NK.
- ✓ Factor de necrosis tumoral: activa los leucocitos durante la inflamación e induce la apoptosis de células tumorales y células infectadas.

○ Complejo mayor de histocompatibilidad (MHC)

Es un conjunto de glucoproteínas, presente en todos los vertebrados, denominados antígenos de histocompatibilidad, que forma parte de las membranas de las células de cada individuo. El MHC funciona como una verdadera huella digital molecular para las células propias, por lo que frente a células de otro individuo funcionan como antígenos, provocando, por ejemplo, el rechazo de trasplantes. En general, el MHC permite distinguir lo propio de lo extraño.

Desempeña un papel fundamental en la respuesta inmunitaria adquirida. Algunas células del sistema inmunitario reconocen y destruyen los patógenos por fagocitos y, a continuación, muestran antígenos del patógeno unidos a componentes del MHC que, de esta forma, pueden ser reconocidos por otras células inmunitarias, como los linfocitos T. Así queda constituida una **célula presentadora de antígenos** (generalmente, estas células son fagocitos).

Existen dos tipos de MHC:

- MHC de clase I: se encuentra prácticamente en todas las células
- MHC de clase II: solo se encuentra en células especializadas en la respuesta inmune (como fagocitos y linfocitos).

5.- DEFENSAS O MECANISMOS ESPECÍFICOS O ADQUIRIDOS O ADAPTATIVOS (3ª LÍNEA DE DEFENSA)

Constituye la tercera línea de defensa del organismo, la más eficaz y precisa. A diferencia de las inespecíficas, **las defensas específicas se dirigen únicamente a un tipo concreto de antígenos**. Para cada antígeno extraño que es detectado en un organismo se produce una respuesta que actúa específicamente contra él. Además de la especificidad, una vez detectado un antígeno, se crea una **memoria inmunitaria** que permite rechazar al mismo antígeno, incluso con mayor efectividad, cuando vuelve a aparecer.

Las células implicadas en esta respuesta específica son los **linfocitos**. Los linfocitos, como hemos recalado en apartados anteriores del tema, son leucocitos de la serie linfoide, no fagocitan, ni forman pseudópodos. Sin embargo, reconocen antígenos específicos.

También es importante saber, donde se forman los linfocitos (quiénes son sus precursores) = **órganos linfoides**.

▪ ÓRGANOS LINFOIDES Y TEJIDOS LINFOIDES

Las células precursoras de los linfocitos (al igual que ocurre con todas las células sanguíneas) se originan en la médula ósea y se convierten en linfocitos maduros en los órganos linfoides.

Se distinguen dos tipos de órganos linfoides: primarios y secundarios.

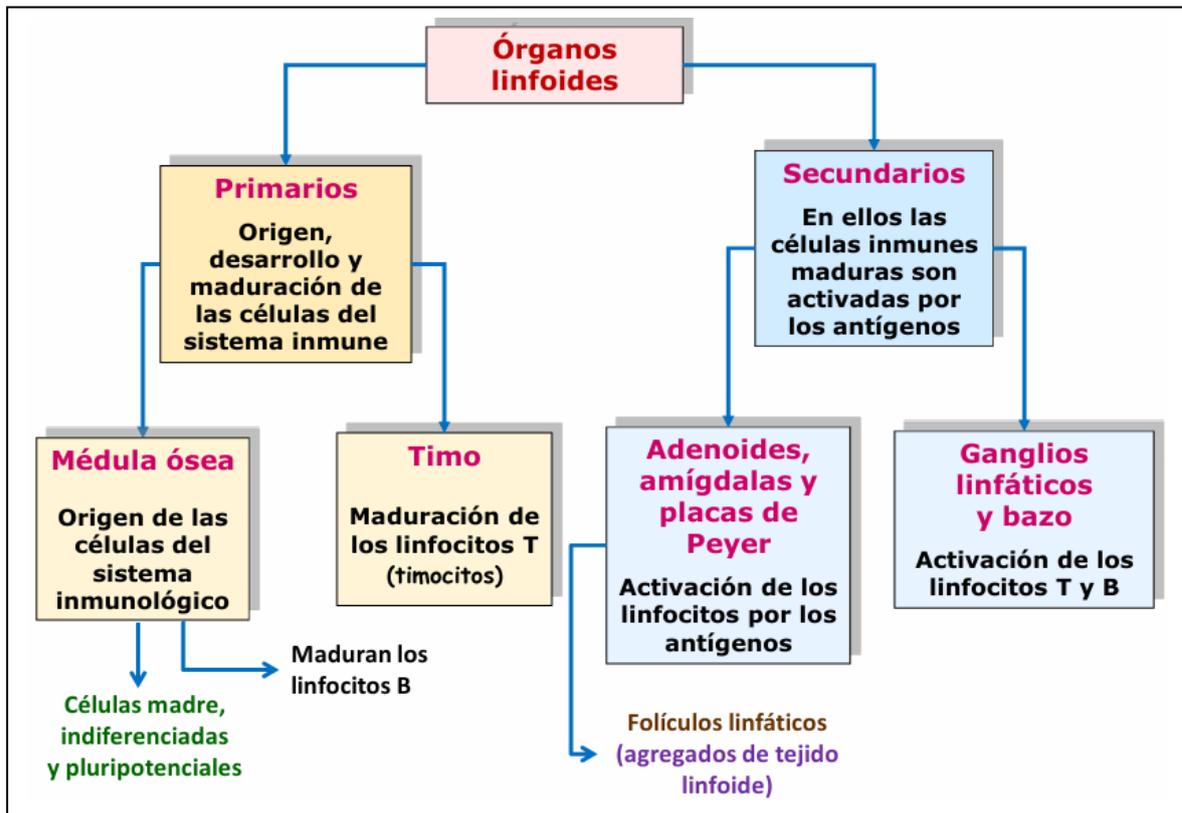
- **Órganos linfoides primarios:** en ellos se produce la diferenciación de los linfocitos.

En el caso de los linfocitos B, el órgano linfoide primario es la médula ósea, y en el de los linfocitos T, el timo (glándula situada detrás del esternón, que alcanza su máximo desarrollo durante la pubertad, para luego ir disminuyendo).

-**Órganos linfoides secundarios:** en ellos tiene lugar la acumulación e interacción de los diferentes tipos de linfocitos.

Los principales órganos linfoides secundarios son los ganglios linfáticos y el bazo. Aunque también se consideran órganos linfoides secundarios el apéndice, las placas de Peyer intestinales y las amígdalas.





Además de los órganos propios del sistema inmune, aparecen unos **tejidos linfoides** asociados a otros aparatos o sistemas.

Estos tejidos son:

- **GALT**: es el tejido linfoide asociado al tubo digestivo, que incluye amígdalas, apéndice vermiforme y placas de Peyer.
- **BALT**: es el tejido linfoide asociado al aparato respiratorio.
- **MALT**: es el tejido linfoide asociado a las mucosas.

En todos estos tejidos se encuentran linfocitos T y B, además de otros tipos celulares pertenecientes al sistema inmune. Las células T y B se activan cuando los antígenos capturados por estos tejidos son presentados a ellas.

▪ MECANISMO DE INMUNIDAD ESPECÍFICA

La respuesta inmunitaria específica engloba un conjunto de procesos muy complejos en los que participan varios tipos de células y sustancias.

Esta respuesta se desarrolla siempre a lo largo de las siguientes fases:

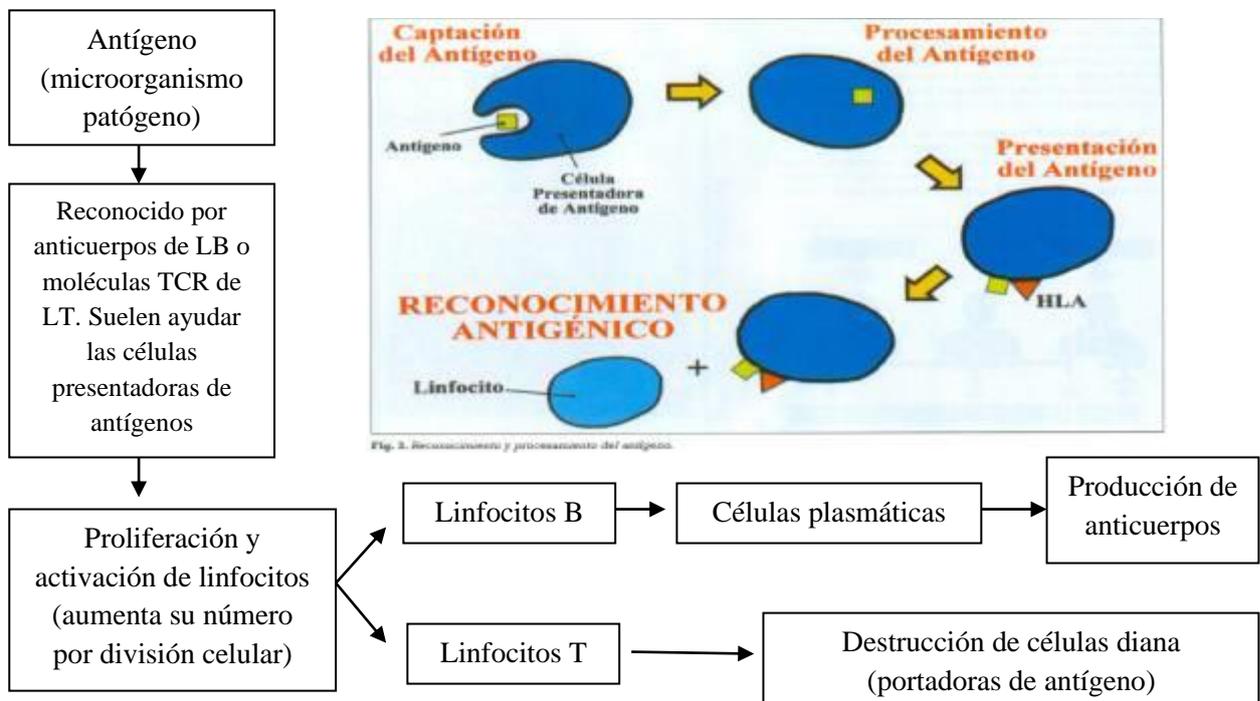
- **Identificación y reconocimiento del antígeno extraño.** El reconocimiento del antígeno lo lleva a cabo los **anticuerpos** en el caso de los **linfocitos B**, y los **receptores de antígeno (TCR)** en los **linfocitos T**. El mecanismo de identificación se trata de un reconocimiento morfológico entre ambas moléculas.

Aunque el antígeno puede ser reconocido directamente, lo normal es que sea necesaria la intervención de las llamadas **células presentadoras de antígenos**, que fagocitan

estructuras antigénicas, y se quedan con determinados fragmentos de los antígenos en su superficie.

- **Activación de los linfocitos.** Tras el reconocimiento, los linfocitos sufren cambios metabólicos y fisiológicos, y comienzan a dividirse activamente. De esa forma, se produce un importante aumento en el número de linfocitos y se pone en marcha una serie de mecanismos para activarlos. En esta activación, participan los macrófagos.

- **Desencadenamiento de la respuesta inmunitaria.** Una vez activados, los linfocitos B se transforman en células plasmáticas, que producen gran cantidad de anticuerpos contra el antígeno correspondiente. Los linfocitos T por su parte, atacan a células portadoras de antígeno (células diana) y causan su destrucción. La respuesta inmunitaria debe estar perfectamente regulada para evitar una actuación defensiva deficitaria o excesiva, lo que se consigue mediante la actuación de otros linfocitos T.



▪ **5.1.- Inmunidad humoral (Linfocitos B)**

Se denomina **inmunidad humoral** al conjunto de mecanismos inmunitarios en los que intervienen proteínas específicas fabricadas contra los antígenos extraños que se difunden por los fluidos del organismo. A estas proteínas específicas se las denomina anticuerpos, y su difusión se realiza por la sangre, la linfa, los líquidos intersticiales y las secreciones donde se llevan a cabo su acción.

La síntesis de anticuerpos es realizada por los linfocitos B, por eso, son los responsables de la inmunidad humoral.

- ✓ **Linfocitos B:** Se dice que son **inmunocompetentes** porque se forman y diferencian en la médula ósea y adquieren la capacidad de producir anticuerpos.

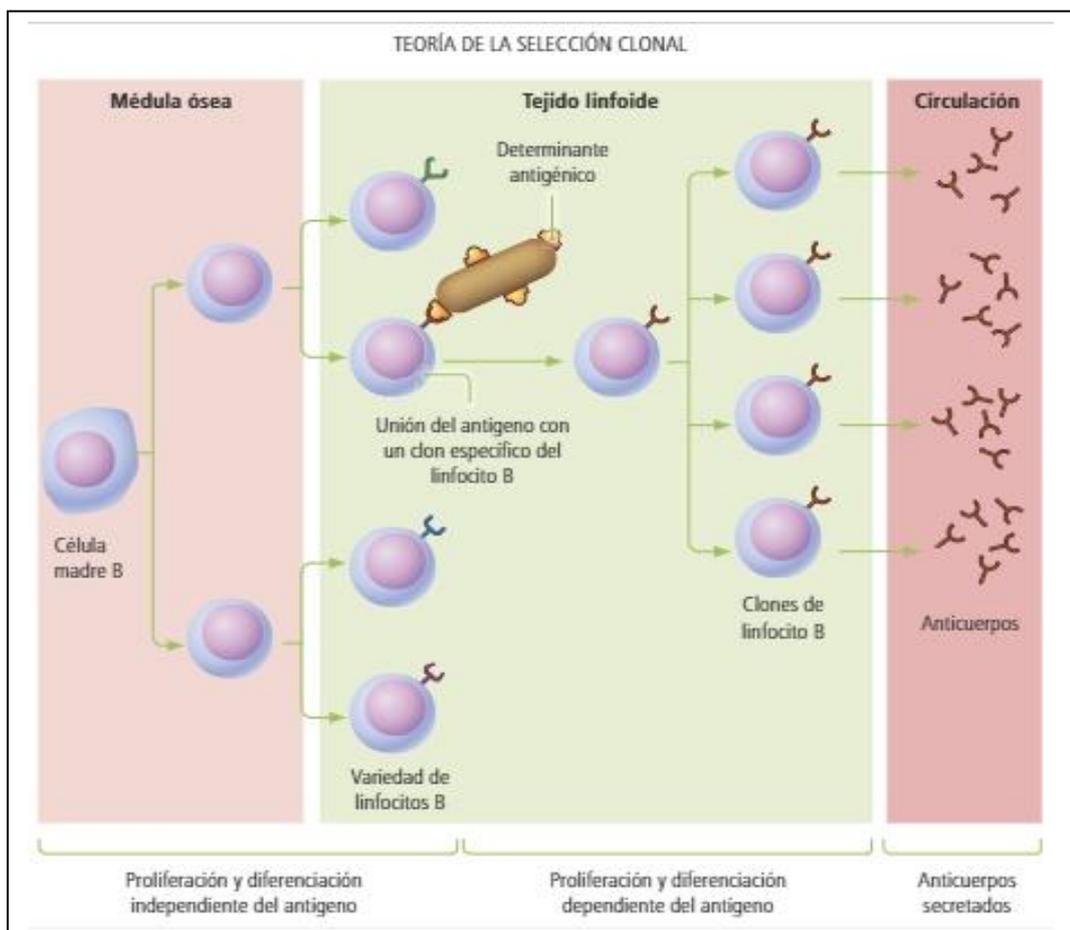
En la médula ósea se generan millones de linfocitos B, genéticamente diferentes, cada uno de los cuales fabricará distintos anticuerpos.

Por lo general, en el sistema inmunitario sólo hay unos pocos linfocitos B diferenciados, que, además, se encuentran inactivos. Cuando aparece un antígeno, tiene lugar su unión a un anticuerpo de la membrana de un determinado linfocito B, la unión únicamente es posible si existe un acoplamiento espacial entre ambas moléculas.

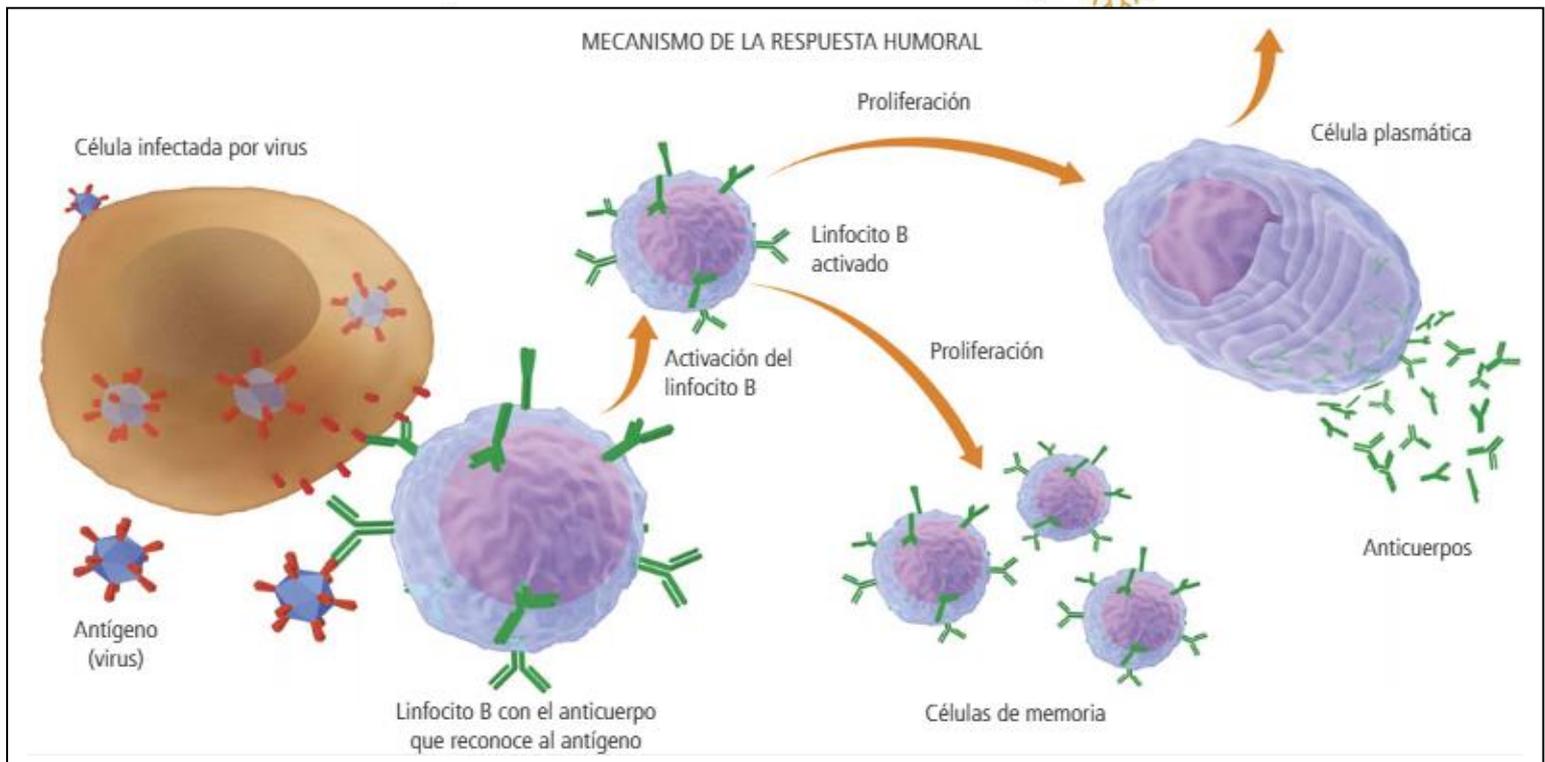
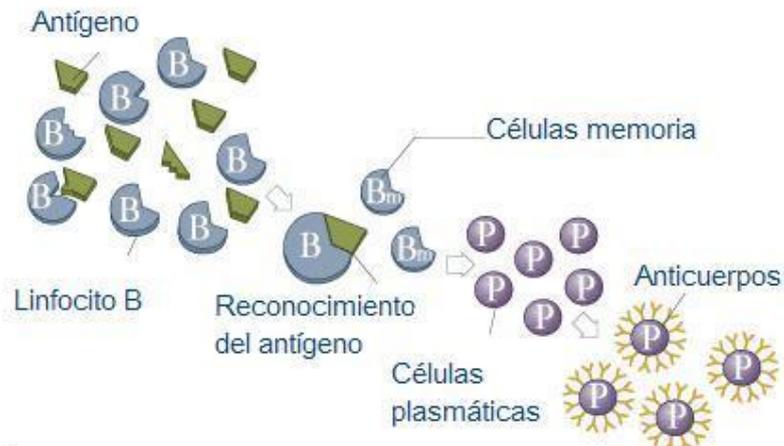
Tras el reconocimiento del antígeno, los linfocitos B se activan. Su activación consiste en la rápida división de estas células para originar una serie o clon de células iguales productoras del mismo tipo de anticuerpo. Así, además de aumentar considerablemente el número de linfocitos después de la exposición al antígeno, todos ellos generan los anticuerpos específicos correspondientes. De esa forma, la propia aparición del antígeno sería la causa de una selección clonal por la que se obtiene un número elevado de linfocitos B productores de los anticuerpos necesarios contra ese antígeno (**Teoría de la selección clonal**).

La Teoría de la selección clonal postula que la llegada de un determinado antígeno al organismo estimula la proliferación selectiva de aquellos linfocitos que tienen en su membrana anticuerpos específicos para ese antígeno, es decir, se origina un clon de linfocitos. El antígeno es el responsable de la formación del clon de linfocitos encargado de rechazarlo, y esto ocurre gracias a la enorme cantidad de anticuerpos del mismo tipo que el clon es capaz de producir.

El sistema inmunitario está formado por miles de clones de linfocitos que se adquieren a lo largo de la vida a medida que el organismo se va encontrando con los patógenos. Todos los linfocitos de un mismo clon han surgido de un antecesor común.



La mayor parte de los linfocitos B activados se convierten en las denominadas células plasmáticas, de gran tamaño y con gran masa de RER que continuamente está produciendo una enorme cantidad de anticuerpos (IgM). Sin embargo, algunos de ellos quedan como linfocitos B de memoria, que tienen una vida ilimitada y constituyen una reserva inmunitaria para nuevas exposiciones futuras al mismo antígeno.



- ✓ **Antígenos:** son aquellas moléculas extrañas a un organismo que, introducidas en él, desencadenan una respuesta inmune específica dirigida a su destrucción (toda sustancia ajena al organismo capaz de desencadenar una respuesta inmune).

Son moléculas grandes, fundamentalmente proteínas (independientes o unidas a glúcidos o a lípidos) y polisacáridos complejos. También pueden ser moléculas sintéticas.

Según su origen, los antígenos se denominan:

- **Heteroantígenos:** son los que pertenecen a organismos de otra especie distinta. Se trata de moléculas situadas en las cápsidas o en las envueltas víricas, en las

paredes bacterianas, en la superficie de las células o de moléculas segregadas por ellas, como las toxinas.

- Isoantígenos: proceden de otro individuo de la misma especie, como los antígenos de la superficie de los glóbulos rojos que constituyen el sistema ABO.
- Autoantígenos: son los menos habituales y consisten en macromoléculas del propio organismo a las que el sistema inmunitario reconoce como extrañas y considera, por tanto, como antígenos.

MARCADORES DE LO EXTRAÑO: ANTÍGENOS

Un antígeno es todo aquello capaz de desencadenar la respuesta inmunitaria específica, que conduce a la producción de anticuerpos y células citotóxicas.

Un **antígeno** es cualquier molécula a la que se une específicamente un anticuerpo, o un receptor de una célula presentadora de antígenos (macrófago) o de un linfocito T o B.

Un antígeno puede ser una molécula de la membrana celular o un componente molecular de un virus, o sus toxinas.



TIPOS DE ANTÍGENOS → { heteroantígenos
isoantígenos
autoantígenos

Los antígenos pueden ser moléculas libres o moléculas que forman parte de determinadas estructuras biológicas (membrana plasmática, glicocáliz, flagelos, cápsula bacteriana, cápsida, etc).

Los antígenos poseen dos propiedades:

- Inmunogenicidad: Capacidad de inducir una respuesta inmune específica, humoral o celular.
- Antigenicidad: Capacidad de combinarse con anticuerpos y con receptores de células T.

Hay moléculas de pequeño tamaño que se pueden unir específicamente a anticuerpos es decir tienen antigenicidad, pero por sí solas no tienen inmunogenicidad, estas moléculas

se llaman **haptenos**. Los haptenos adquieren carácter antigénico al unirse a moléculas transportadoras del organismo, generalmente proteínas.

No todo el antígeno se une con el receptor antigénico (receptor de membrana de anticuerpos o de linfocitos), sino sólo una pequeña porción de la superficie del mismo, denominada **determinante antigénico** o **epítipo**. Por lo tanto, estas regiones son las que le dan el carácter antigénico al antígeno, por ellas es por donde se unen a los receptores de los linfocitos y a los anticuerpos libres. Los antígenos pueden tener uno o varios epítipos, según esto pueden ser: **monovalentes** (un único epítipo), **divalentes** (2 epítipos), **trivalentes** (3 epítipos), etc y **polivalentes** (poseen varios epítipos, lo que supone que se puede unir a varios Ac iguales o diferentes).

PROPIEDADES DE LOS ANTÍGENOS

PROPIEDADES DE LOS ANTÍGENOS:

- **Inmunogenicidad:** capacidad de producir una respuesta inmunitaria.
- **Antigenicidad:** capacidad de unión con su correspondiente receptor específico.

PROPIEDADES DE UNIÓN ANTÍGENO-ANTICUERPO:

- **Especificidad:** cada anticuerpo reconoce un determinante antigénico.
- **Afinidad:** es la fortaleza de la interacción entre el antígeno y el anticuerpo.

DETERMINANTES ANTÍGENOS (EPÍTIPOS)

Los **epítipos** son las diferentes porciones del antígeno que son reconocidas específicamente por un anticuerpo o por los receptores de membrana de los linfocitos.

Antígenos { **Monovalentes**
Polivalentes

Antígeno monovalente
 Monómero IgD, IgE, IgG

Antígeno bivalente
 Dímero IgA

Antígeno pentavalente
 Pentámero IgM

Antígeno trivalente
 ANTÍGENO con 3 epítipos o determinantes antigénicos

Anticuerpos

Unión Ag-Ac

Inactivación del Ag

Especificidad

- ✓ **Anticuerpos:** Son proteínas del grupo de las globulinas, que se encuentran en la sangre y el líquido extracelular de los distintos tejidos. También se denominan **inmunoglobulinas**. Son sintetizados por los linfocitos B. La acción de los anticuerpos se basa en el reconocimiento de unas moléculas características de los patógenos (antígenos). Pueden permanecer adheridos a las membranas de los linfocitos (actuando como receptores de superficie), o bien ser liberados a la sangre (donde forman parte de proteínas plasmáticas, la linfa o secreciones corporales).

Estructura:

Los anticuerpos son proteínas globulares y la estructura básica de los mismos está formada por 4 cadenas polipeptídicas:

- 2 cadenas ligeras o L: Hay dos idénticas. Cada una de ellas consta de unos 200 aminoácidos. Presentan una porción variable y una porción constante.
- 2 cadenas pesadas o H: Hay dos idénticas. Cada una de ellas contiene unos 400 aminoácidos, y presentan ligadas a ellas, unas moléculas de oligosacáridos. Tienen una porción variable y una porción constante.
- Las cadenas H y L están unidas entre sí por puentes disulfuro
- Brazos: Hay dos y cada uno de ellos, presenta el resto de una de las cadenas pesadas y una cadena ligera. Todas ellas tienen radicales amino (- NH₂) terminales.
- Bisagra: Zona en la base de los brazos de las cadenas H, constituidas por unos pocos aminoácidos, que les facilita moverse libremente respecto al tallo.
- Tallo: Está formado por parte de las dos cadenas pesadas con los radicales ácido (- COOH) terminales.

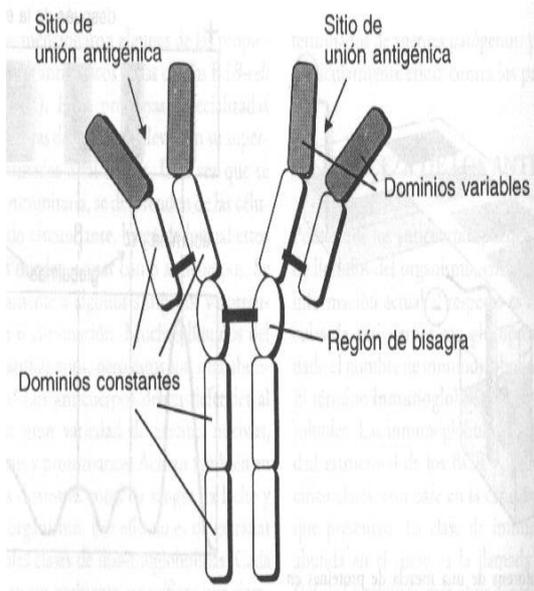
En el anticuerpo se pueden distinguir dos regiones según sus componentes:

- Porción variable: son los extremos aminados de las cadenas H y L. Cada tipo de anticuerpo presenta en esta zona de las cadenas una secuencia diferente de aminoácidos.

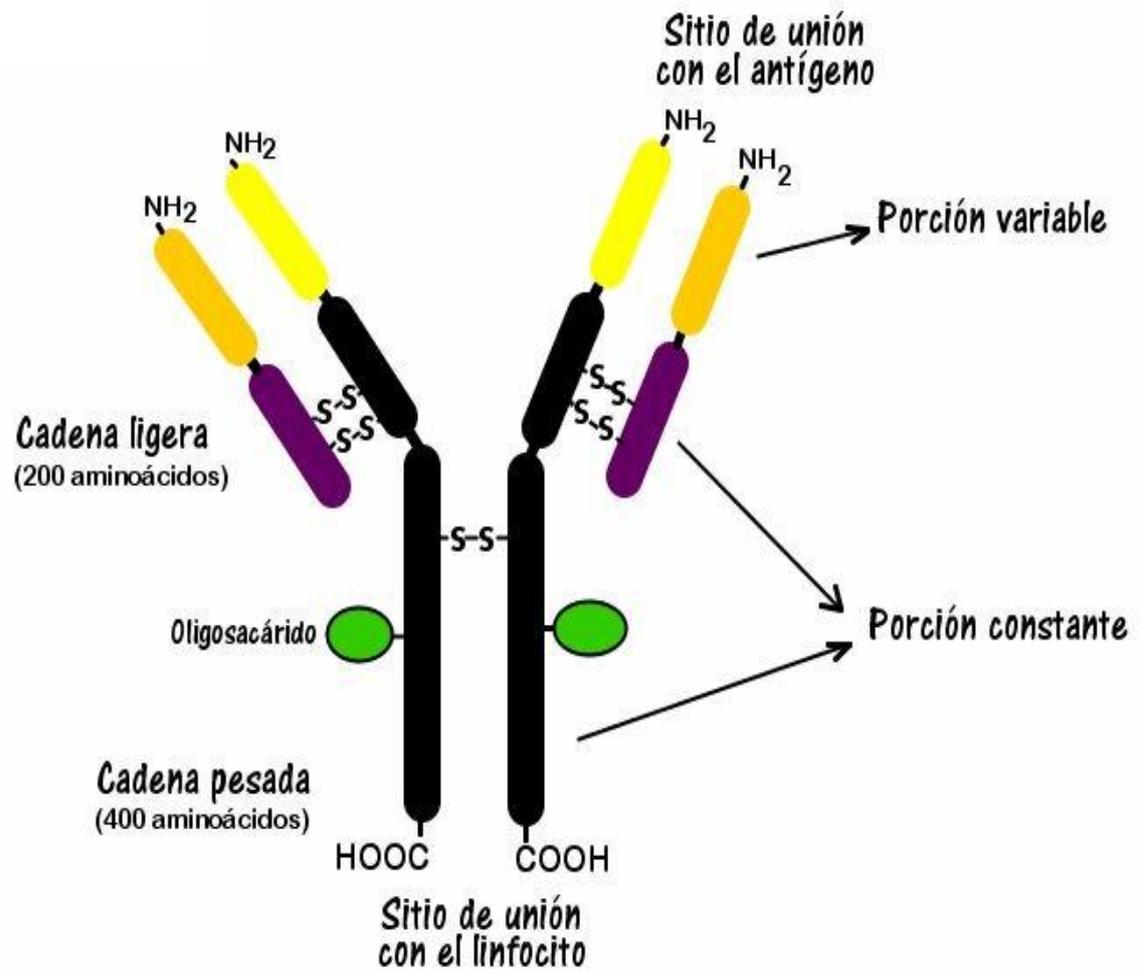
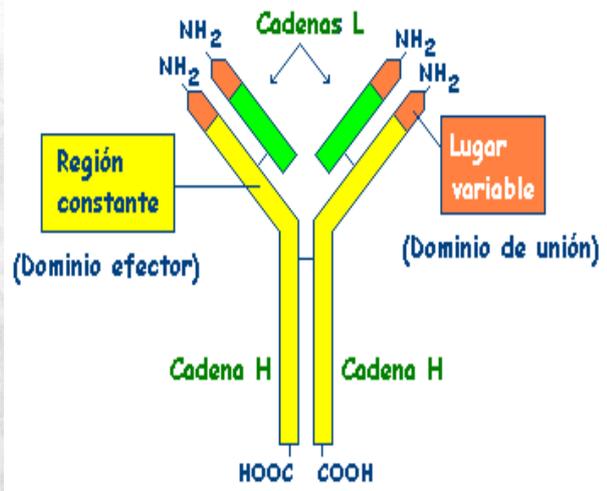
Los dos extremos de la Y de los anticuerpos son los **centros de unión** a los antígenos, de modo que una molécula de anticuerpo es bivalente.

Se llama **paratopo o idiotipo** a la zona del anticuerpo que se une el antígeno. Está formado por las porciones variables de las cadenas H y L, y en él encaja el determinante del antígeno específico.

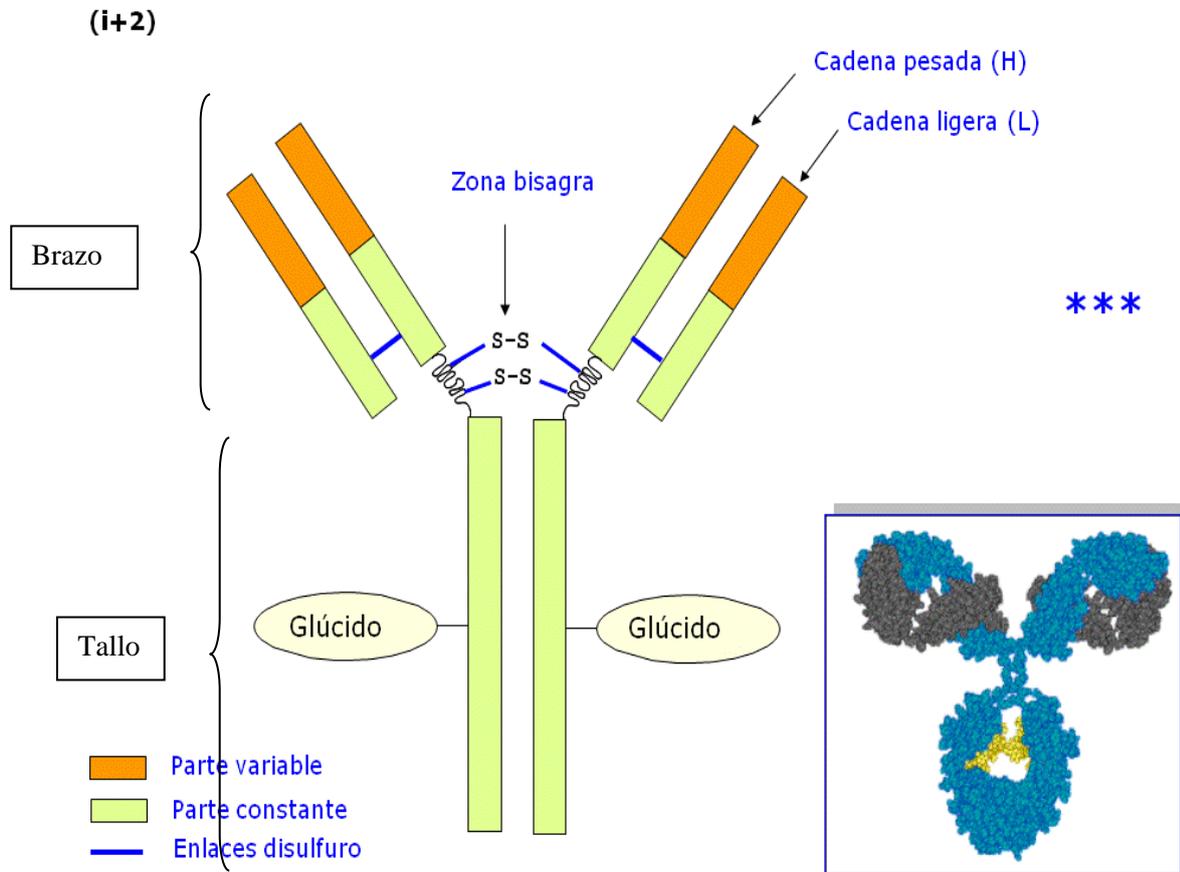
- Porción constante: corresponde al resto de las cadenas H y L, y carece de la propiedad de unirse a los antígenos.



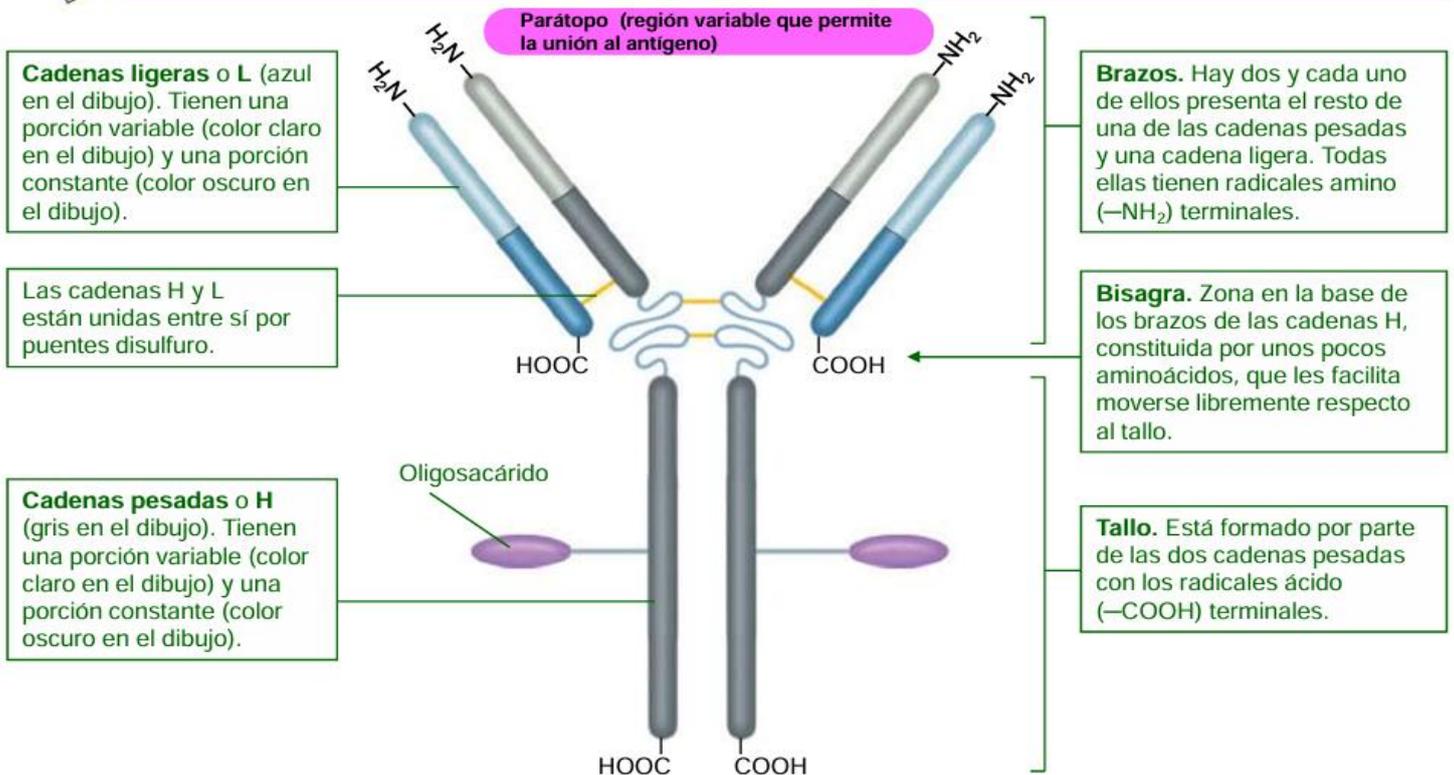
ESQUEMA DE ANTICUERPO



ESTRUCTURA DE LA UNIDAD BÁSICA QUE FORMA LOS ANTICUERPOS



ANTICUERPOS o inmunoglobulinas



Existen 5 tipos de inmunoglobulinas o anticuerpos atendiendo a la composición de la cadena pesada H:

- **Inmunoglobulina G (Ig G):** Son monoméricas y las más abundantes (representan un 80 % del total de Ig). Se localizan en la sangre y en los líquidos extracelulares. Favorecen la fagocitosis.

Constituyen las inmunoglobulinas más abundantes en la respuesta inmunitaria secundaria, que se produce al detectarse un antígeno con el cual ya ha existido un contacto previo.

Son capaces de atravesar la placenta, por lo que inmunizan al feto contra los antígenos, para los que la madre gestante es inmune (constituyen las primeras y únicas moléculas de defensa en el embrión y en el recién nacido, dotándolo de inmunidad pasiva. Producen inmunidad frente a bacterias, hongos y virus, y activan las células fagocíticas de la sangre y el sistema del complemento.

- **Inmunoglobulina A (Ig A):** Representan el 13 % (10 – 15 %) del total de Ig. Pueden ser monoméricas o dímeros. Las primeras se encuentran en la sangre y en otros líquidos extracelulares, mientras que las segundas se localizan en secreciones como la saliva, las lágrimas, la leche, secreciones vaginales y el mucus que recubre el interior del aparato respiratorio y el intestino.

Por lo que colaboran con las barreras defensivas primarias. Su función básica consiste en proteger las mucosas de la invasión microbiana. Protegen al organismo tanto de patógenos inhalados como de los ingeridos.

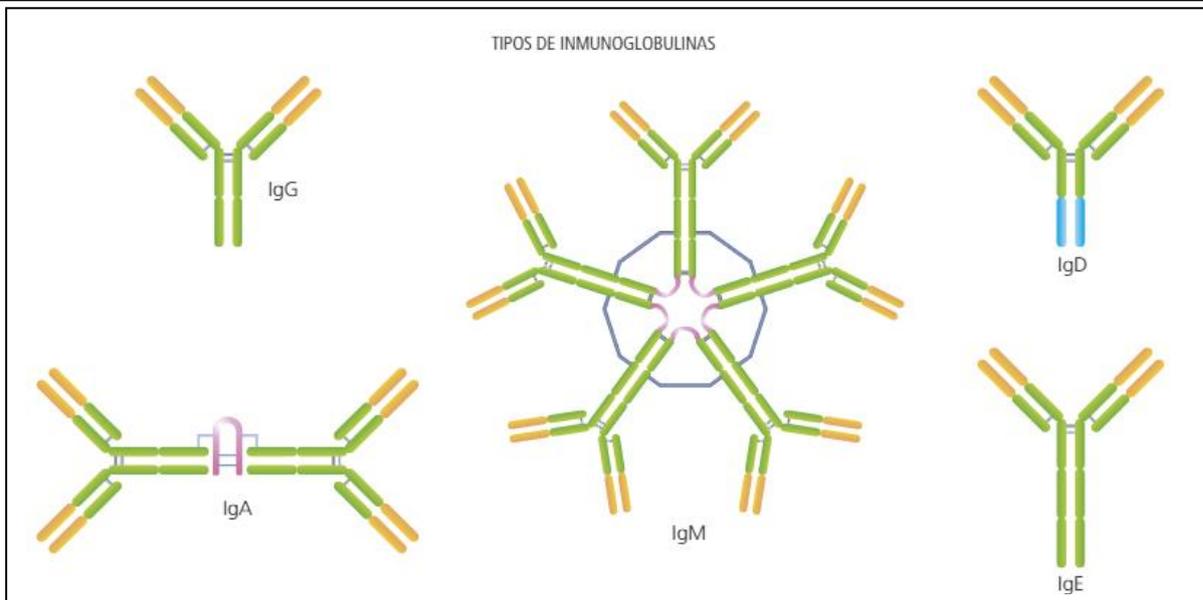
- **Inmunoglobulina M (Ig M):** Representa el 6 % (5 – 10%) del total de Ig. Se encuentran en sangre y líquidos extracelulares. Son muy eficaces en la activación del complemento. Son los primeros anticuerpos que se producen ante la exposición de un antígeno nuevo.

Están compuestos por 5 monómeros unidos por puentes disulfuro y por una cadena polipeptídica denominada J (son pentámeros). Debido a su elevado peso molecular no pueden salir de los vasos sanguíneos. Se encuentran también sobre la superficie de los linfocitos B, donde actúan como receptores de membrana de los linfocitos.

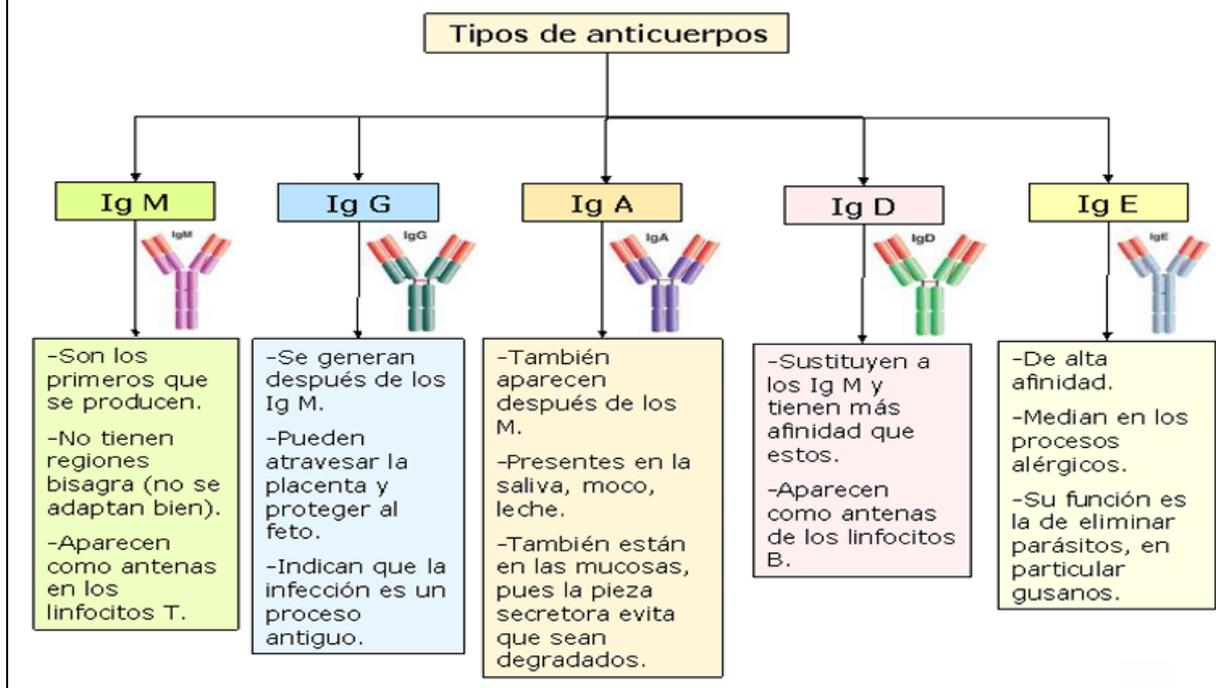
- **Inmunoglobulina D (Ig D):** Son monómeros. Representa aproximadamente el 1 % del total de Ig. Se localizan en la membrana de los linfocitos B, participan en el reconocimiento de los antígenos y en la estimulación de la producción de otros anticuerpos.
- **Inmunoglobulina E (Ig E):** Son monoméricas. Con una % inferior al 1 % del total de Ig, pueden encontrarse en sangre y líquidos extracelulares. Provocan la desgranulación de los leucocitos eosinófilos. Participan y son las responsables de las reacciones alérgicas y eliminar parásitos tipo gusano.

CLASES DE INMUNOGLOBULINAS

ISOTIPO BÁSICO	% EN SUERO NORMAL	FUNCIÓN	LOCALIZACIÓN
IgG	80%	Proporcionar resistencia a largo plazo. Facilitar la fagocitosis	Sangre y leche materna
IgM	5-10%	Primer anticuerpo en sangre en la respuesta primaria. Actúa en los primeros estados de la respuesta específica	Suero y membrana de linfocitos B (los monómeros)
IgE	< 1%	Protección frente a parásitos metazoos	Piel
IgA	10-15%	Inhibe la adhesión de parásitos y microorganismos a los tejidos	Secreciones corporales (IgA secretora) y suero (IgA sérica)
IgD		Poco conocida	Membrana de linfocitos B



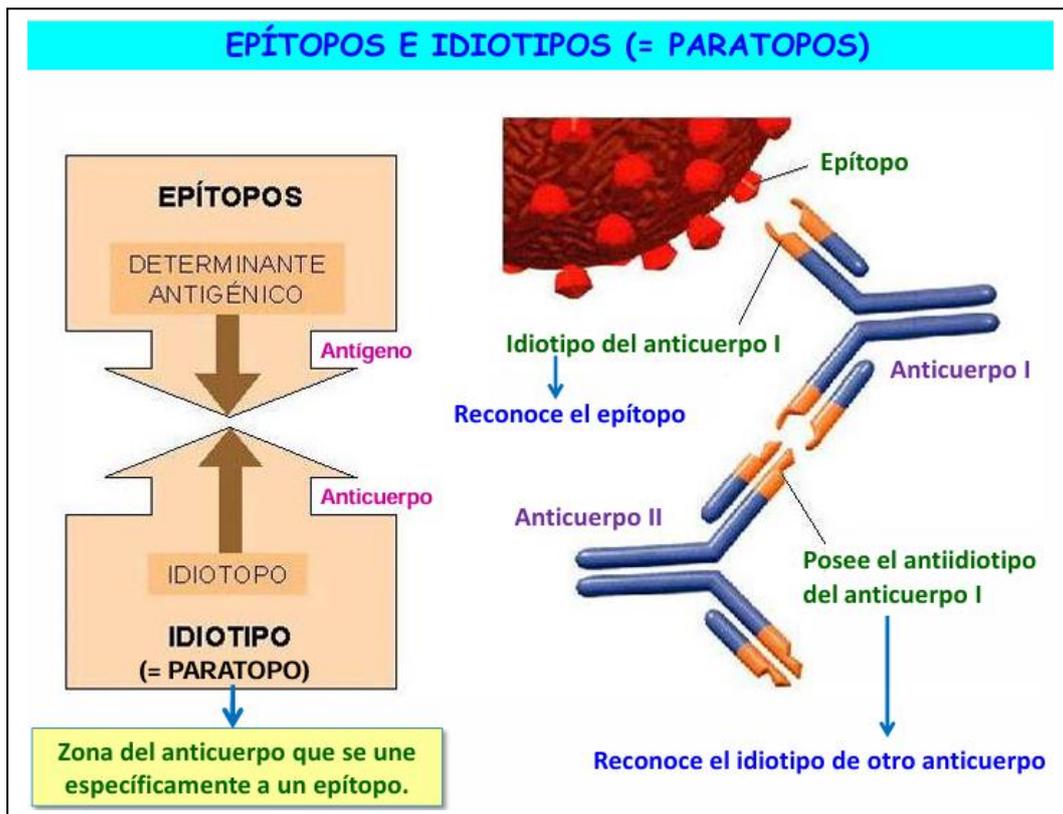
TIPOS DE γ -INMUNOGLOBULINAS (ANTICUERPOS)



Las principales funciones de los anticuerpos se resumen en una serie de reacciones químicas, basadas en la unión Antígeno - Anticuerpo: **Reacción antígeno – anticuerpo (Ag – Ac)**

Los anticuerpos cuando se encuentran con los antígenos que provocaron su aparición, reaccionan con ellos produciéndose la reacción antígeno-anticuerpo, mediante esta reacción el anticuerpo se une al antígeno y se forma el complejo antígeno-anticuerpo, esta reacción tiene por finalidad destruir de una u otra forma a los antígenos.

Esta unión se establece entre los determinantes antigénicos (epitopos) del antígeno y los paratopos del anticuerpo.



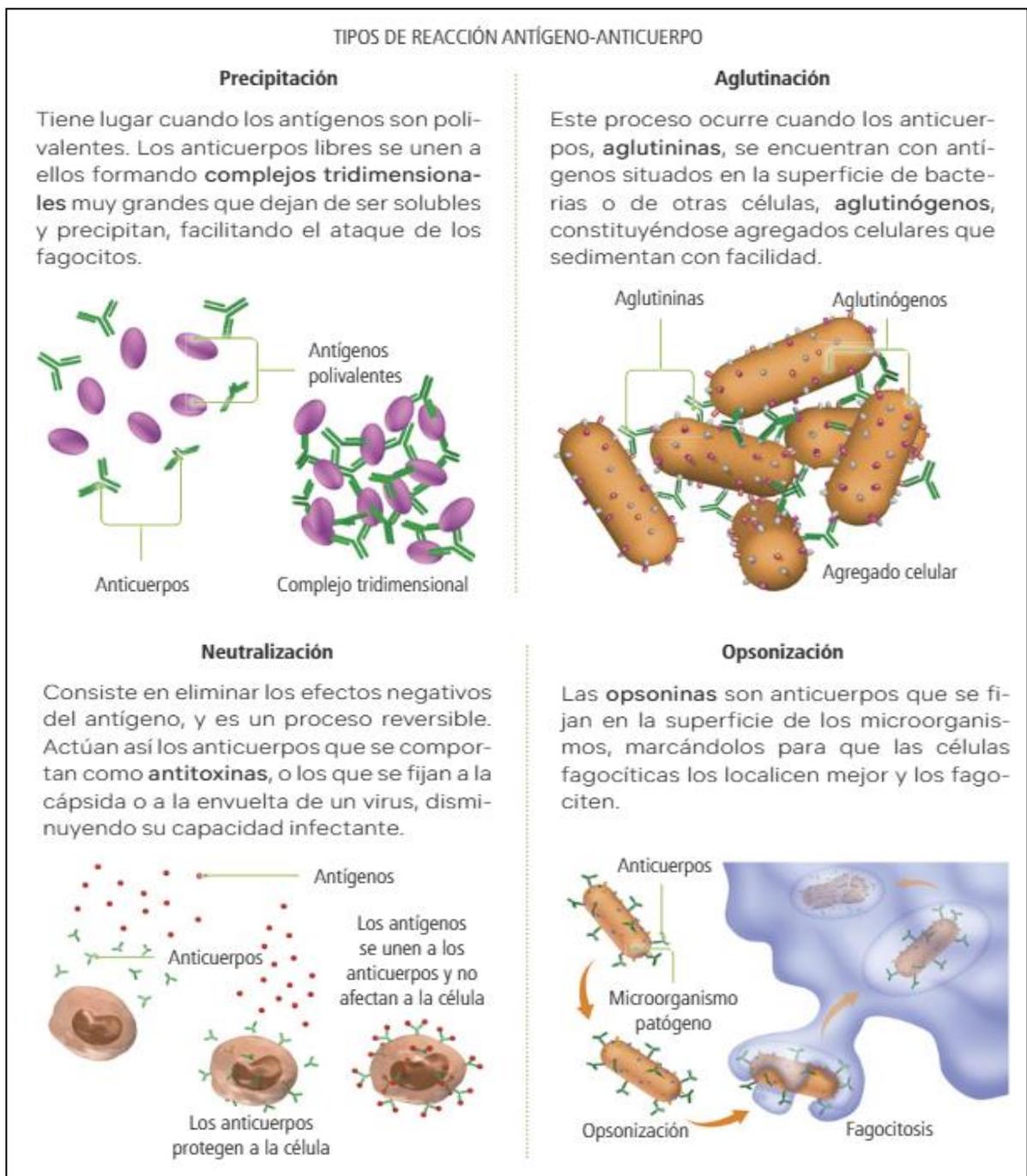
La unión de los anticuerpos a los antígenos específicos para los que son sintetizados se traduce en varios efectos directos e indirectos.

➤ **Efectos directos.** Constituyen las denominadas reacciones antígeno-anticuerpo o reacciones serológicas, entre las que se distinguen las siguientes:

- **Reacción de neutralización:** En este caso el anticuerpo al unirse al antígeno elimina los efectos negativos que éste tiene sobre el organismo invadido.
- **Reacción de precipitación:** Se da cuando los antígenos son macromoléculas solubles que poseen varios determinantes antigénicos (son polivalentes), entonces los anticuerpos libres se unen con ellos y forman complejos tridimensionales insolubles que precipitan.
- **Reacción de aglutinación:** Se produce al reaccionar los anticuerpos con antígenos que se sitúan en la superficie de bacterias u otras células. Como

resultado estas células forman agregados que sedimentan fácilmente. En este caso a los antígenos de la superficie de las células se les denomina aglutinógenos y a los anticuerpos aglutininas.

- **Efectos indirectos.** La unión del anticuerpo al antígeno permite una acción posterior que facilita su eliminación mediante una serie de efectos, entre los que se encuentran la opsonización (que facilita la fagocitosis) y la activación del complemento.
 - **Reacción de opsonización:** Es el proceso mediante el cual los anticuerpos se unen a los determinantes antigénicos que hay en la superficie de los gérmenes o de otras partículas antigénicas y los recubren, y esto favorece la fagocitosis de los mismos debido que los anticuerpos facilitan la adhesión a la superficie de los fagocitos.



- ✓ **Memoria Inmunológica y Respuesta Inmunes Humoral 1ª y 2ª:** como comentamos anteriormente, la mayor parte de los linfocitos B activados se convierten en las llamadas células plasmáticas, de gran tamaño y con una enorme producción de anticuerpo. Sin embargo, algunos de ellos quedan como linfocitos B de memoria, que tiene una vida ilimitada y constituyen una reserva inmunitaria para nuevas exposiciones futuras al mismo antígeno.

Por lo tanto, el organismo desarrolla un sistema de memoria inmunológica en el que, como si de un archivo se tratara, almacena información sobre estos antígenos. Como hemos comentado antes, este sistema de defensa consiste en la formación de unos linfocitos de memoria que permanecen en el organismo incluso después de eliminar el antígeno por completo.

Los linfocitos de memoria se activan rápidamente ante una nueva exposición al mismo antígeno. Así, cuando reaparece el antígeno, se produce una respuesta rápida. Mientras que la respuesta inicial (primaria) tarda en desarrollarse de una a dos semanas, las respuestas sucesivas (secundaria) aparecen en muy pocos días tras la reintroducción del antígeno.

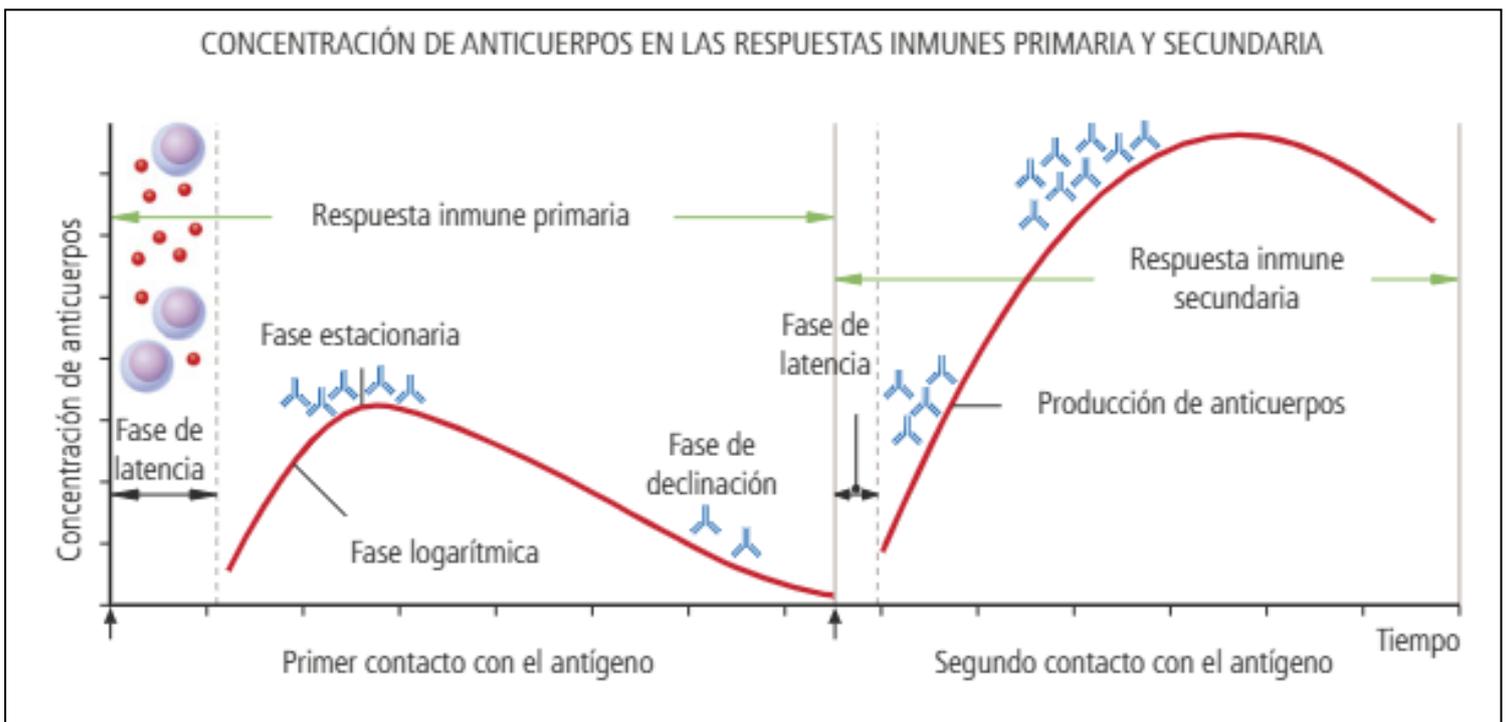
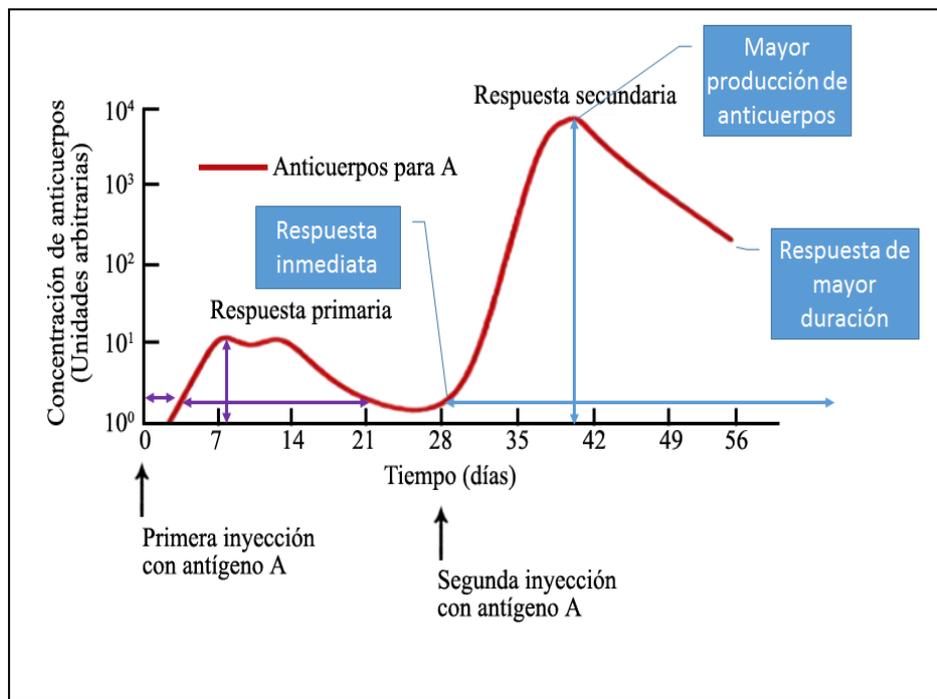
Los linfocitos de memoria se acumulan en los ganglios linfáticos, desde donde pasan a linfa y a sangre.

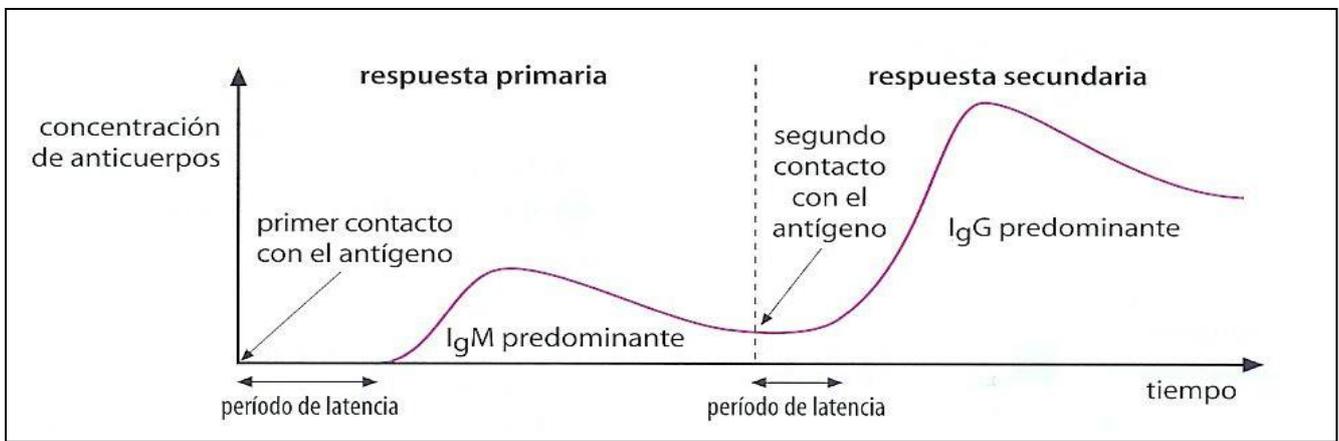
- **Respuesta Inmune primaria:** el SI desarrolla la RI primaria en el primer contacto del organismo con un antígeno. Este proceso es imprescindible y necesario para que exista la memoria inmune anteriormente comentada, puesto que es aquí, en esta fase donde los LB generan células de memoria. Esta RIP consta de 3 fases:
 1. Fase de latencia: tiene una duración de una a dos semanas, durante la cual el antígeno es identificado y tiene lugar la proliferación de los linfocitos.
 2. Fase logarítmica: dura varios días, y en ella la producción de Ac (Tipo IgM) aumenta hasta un máximo.
 3. Fase de declinación: en ella, la concentración de Ac va disminuyendo progresivamente hasta alcanzar niveles muy bajos o anularse. Cuando esto ocurre, la RIP ya ha eliminado la infección.
- **Respuesta Inmune secundaria:** aparece cuando el antígeno accede por segunda vez al organismo, sin que importe el tiempo transcurrido desde el primer contacto. Tiene características muy distintas a la RIP. Consta de 2 fases:
 1. Fase de latencia: es mucho más corta que en la RIP, ya que existen células de memoria que reconocen al antígeno con gran eficacia y proliferan a gran velocidad.
 2. Fase de producción de anticuerpos (tipo IgG): se produce de forma más rápida y con mayor intensidad que en la RIP. Los Ac pueden perdurar largo tiempo en la sangre. Los virus del sarampión, la varicela o la rubeola crean un estado inmune permanente en el individuo (la

inmunidad adquirida dura toda la vida). Pero, el virus de la gripe, que dispone de componentes antigénicos sensibles a las mutaciones, solo provoca una inmunidad temporal.

Los anticuerpos sintetizados en la respuesta secundaria (IgG) tienen una mayor afinidad por el antígeno y se producen en más cantidad que los formados en la respuesta primaria (IgM), por lo que los procesos inmunitarios son más eficaces.

La respuesta inmunitaria es tan rápida y eficaz que, en muchas ocasiones, gracias a la memoria inmunológica, el antígeno es eliminado antes incluso de que se produzca ningún síntoma apreciable de la enfermedad. Esta es la causa de que, tras haber superado una enfermedad infecciosa, la reinfección no sea posible en un período viable de tiempo.





▪ 5.2.- Inmunidad celular (Linfocitos T)

La **Inmunidad celular o inmunidad mediada por células** consiste en otro proceso de respuesta defensiva específica en la que no intervienen los anticuerpos.

Este tipo de respuesta es muy eficaz, y se utiliza para provocar la destrucción de:

- Células extrañas a un organismo procedentes de otro individuo distinto, aunque sea de la misma especie (órganos trasplantados)
- Células propias tumorales
- Células infectadas por virus
- Células que contienen un microorganismo de crecimiento intracelular, como la bacteria *Mycobacterium* o el protoctista *Leishmania*, entre otros.

Esta respuesta, se desarrolla gracias a dos tipos de linfocitos:

- ✓ **Linfocitos T:** Los linfocitos T se originan en la médula ósea, y luego se trasladan al timo donde maduran y son funcionales. Destruyen las células infectadas por un agente patógeno. Son la principal defensa ante virus y hongos. Tienen un radio de acción limitado ya que, para eliminar los antígenos, es necesario que su membrana entre en contacto directamente con ellos.

Existen tres tipos de linfocitos T, que desempeñan funciones distintas:

- **Los linfocitos T citotóxicos (LT_C o LT₈):** destruyen las células que han sido infectadas por virus, así como algunas cancerosas (destrucción de células diana)
- **Los linfocitos T cooperadores o colaboradores o Helper (LT_H o LT₄):** regulan la actividad de los linfocitos B y los macrófagos.
- **Los linfocitos T supresores:** inhiben la acción de los LT colaboradores y detienen la respuesta inmune. Estos linfocitos son importantes para el mantenimiento de la homeostasis, además de favorecer la tolerancia hacia los autoantígenos. actúan una vez superada la infección, es decir, cuando se ha eliminado el antígeno y su misión consiste en detener la respuesta inmunitaria. A veces lo que hacen es atenuarla, cuando la respuesta inmune es excesiva y podría resultar peligrosa para el organismo.

Los linfocitos T actúan de forma específica contra células diana que portan antígenos extraños en su superficie. Poseen receptores de antígenos, sin embargo, a diferencia de los B no pueden identificar antígenos libres, y además deben reconocer el antígeno

extraño y una molécula propia (**autoantígeno**) de la célula diana en la que se encuentran.

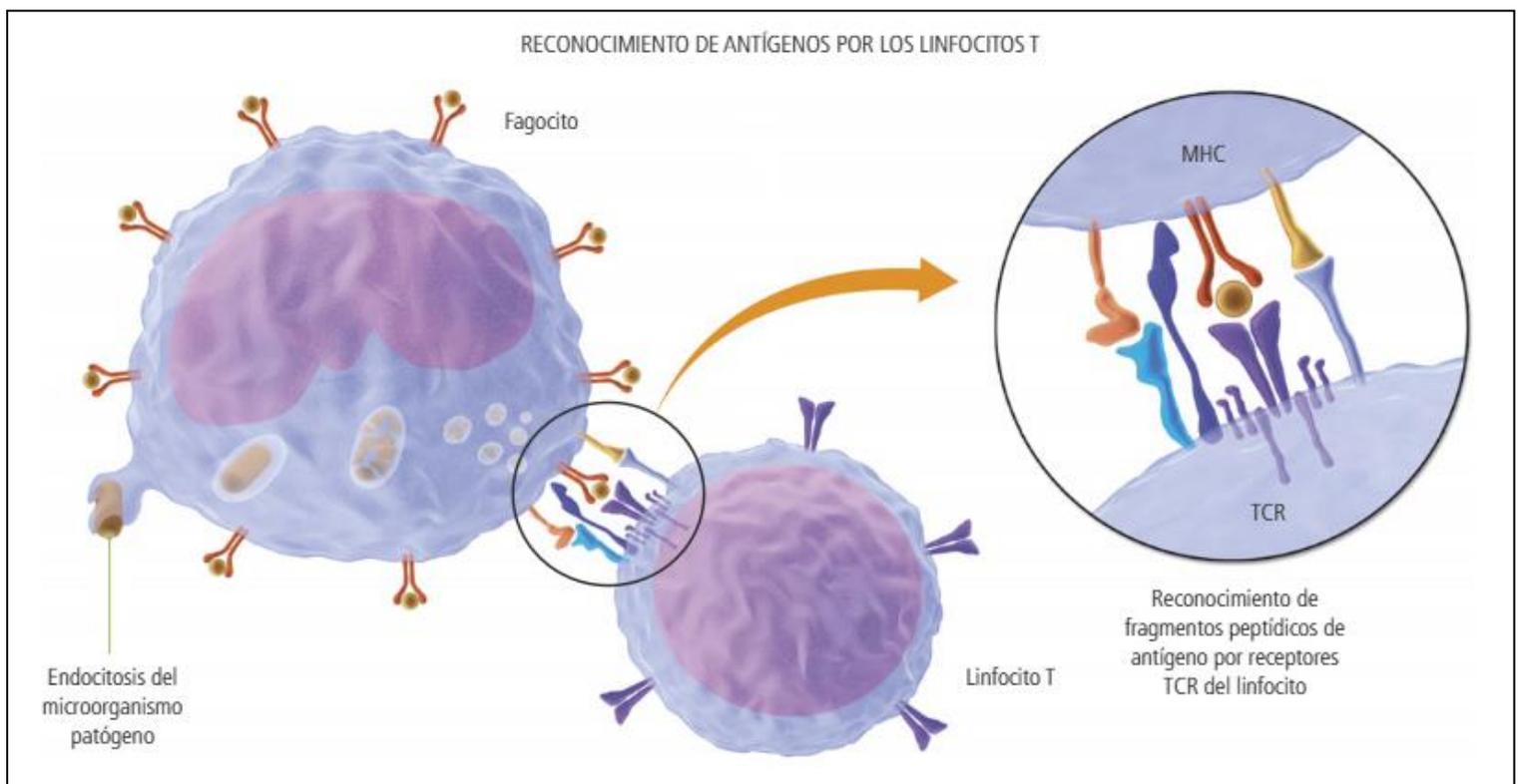
El proceso se realiza de la siguiente forma: habitualmente, un fagocito captura un elemento extraño y tras su digestión intracelular sitúa alguno de sus antígenos en su propia membrana que, se combina con un autoantígeno formando el **complejo antigénico**. Esto lo convierte en una célula presentadora de antígenos. El complejo antigénico, se une al receptor antigénico del linfocito T produciendo la activación de este.

Los autoantígenos son glucoproteínas específicas de cada individuo, codificadas por una región del genoma que se denomina **complejo principal de histocompatibilidad (MHC)**. Existen **dos clases de autoantígenos** codificados por el MHC: los de **clase I** que se encuentran en todas las células nucleadas del organismo; y los de la **clase II**, que sólo se localizan en las células presentadoras de antígenos y en los linfocitos B. De aquí se derivan los problemas de compatibilidad y rechazo en el trasplante de órganos.

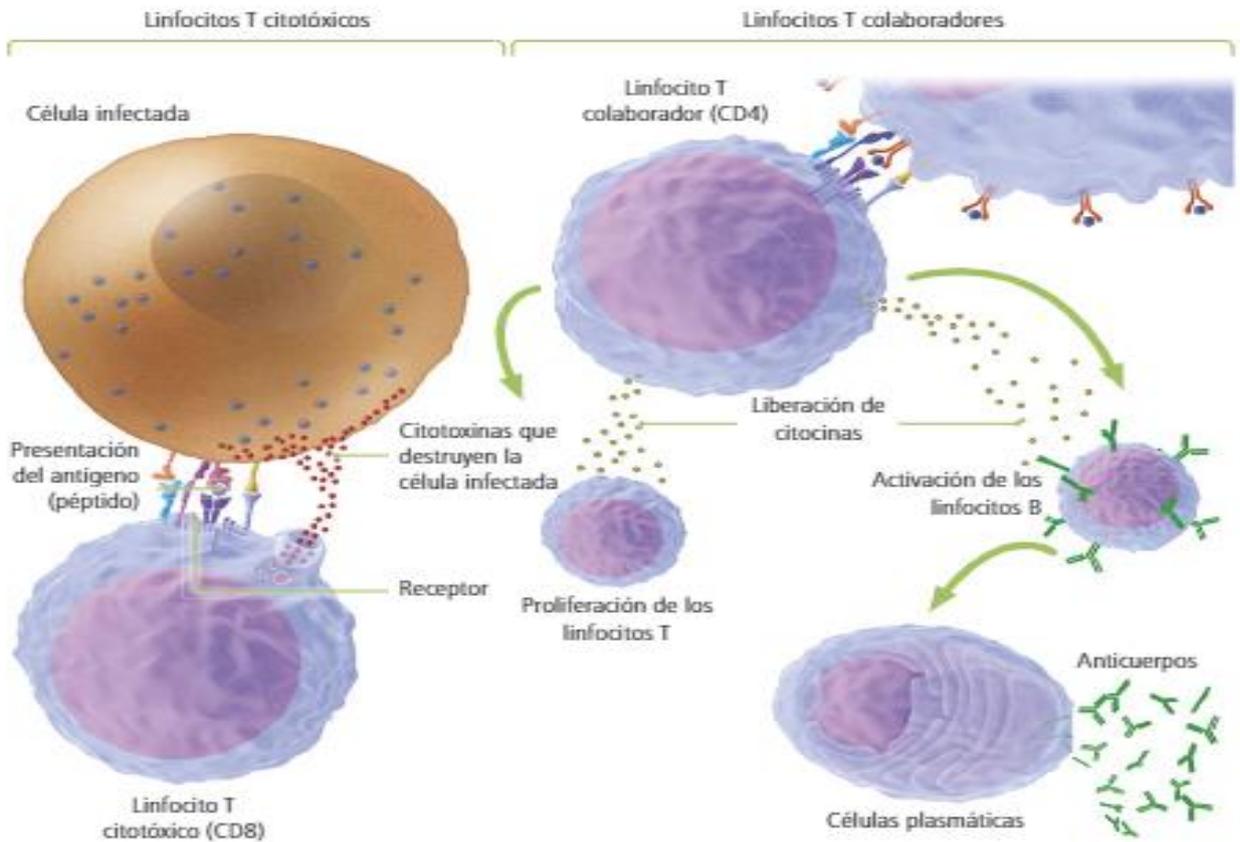
- ✓ **Linfocitos no - B no - T:** Las células conocidas con este nombre son minoritarias (representan menos del 3 % del total de linfocitos). A diferencia de linfocitos B y T, estas células que poseen un tamaño mayor y gránulos citoplasmáticos, no reconocen al antígeno, y tienen, por tanto, actuación inespecífica. Por otra parte, tras la estimulación, su número no aumenta ni originan memoria inmunológica.

Existen dos tipos de linfocitos no - B no - T:

- **Células K o células asesinas:** atacan a las células recubiertas con antígenos y segregan perforinas, como los linfocitos T_c para destruirlas.
- **Células NK o células asesinas naturales (natural Killer):** actúan de manera semejante a las anteriores, destruyendo, en este caso, las células afectadas por virus y las cancerosas, así como las pertenecientes a órganos trasplantados. Producen linfocinas, que regulan a los linfocitos B y T.

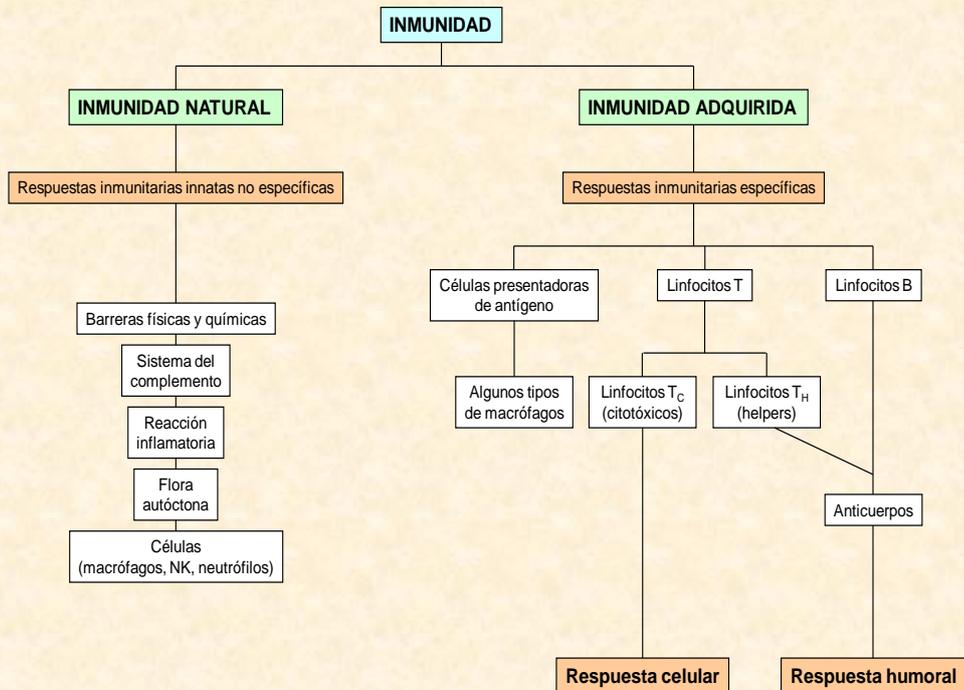


MECANISMO DE ACCIÓN DE LOS LINFOCITOS T



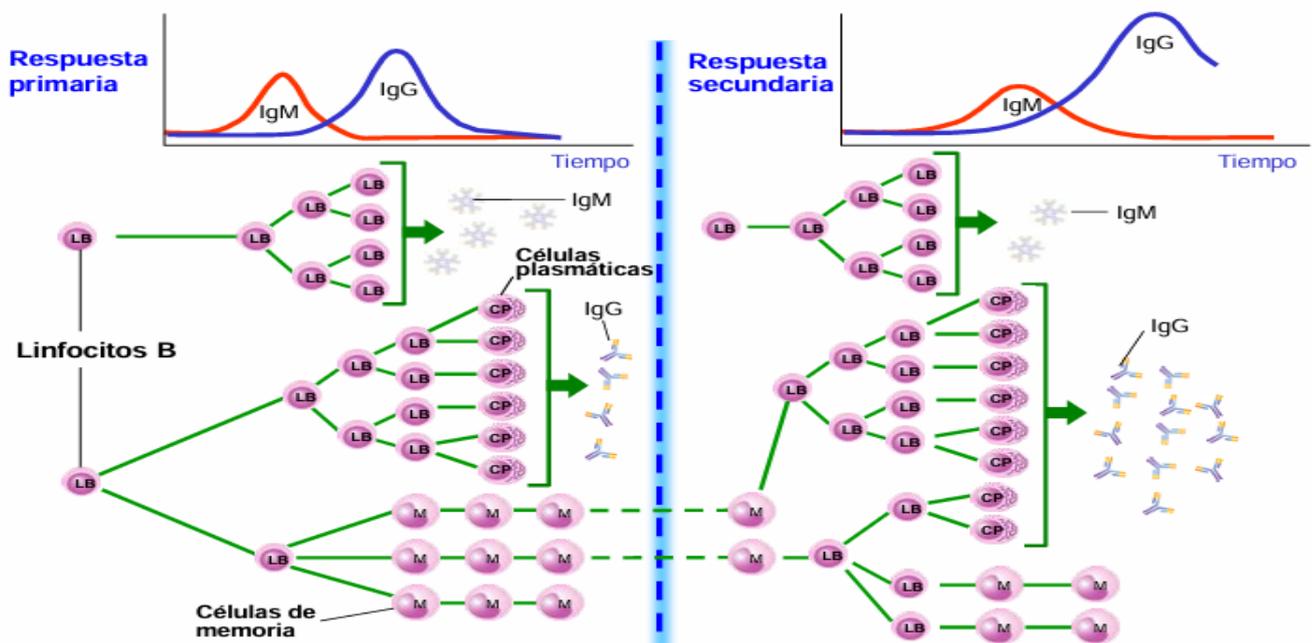
EL SISTEMA INMUNITARIO

Reservorio: José Luis Martínez, género masculino

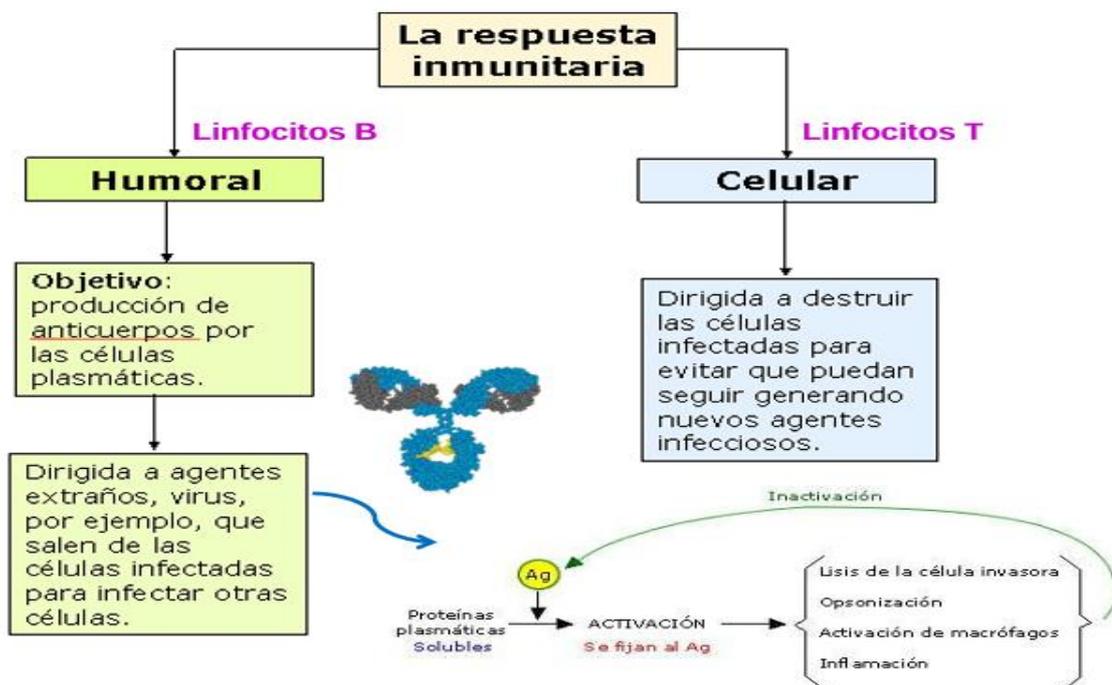


SISTEMA INMUNE INNATO	SISTEMA INMUNE ADAPTATIVO
La respuesta no es específica	Respuesta específica contra patógenos y ANTÍGENOS
La exposición conduce a la respuesta máxima inmediata	Demora entre la exposición y la respuesta máxima
Inmunidad mediada por células y componentes humorales	Inmunidad mediada por células y componentes humorales
Sin memoria inmunológica	La exposición conduce a la memoria inmunológica
Presente en casi todas las formas de vida	Presente sólo en vertebrados mandibulados

RESPUESTA HUMORAL Y MEMORIA INMUNOLÓGICA



TIPOS DE RESPUESTAS ADAPTATIVAS



TEMA 18: EL SISTEMA INMUNITARIO

Actividades de repaso de la unidad

- 1.- ¿Qué finalidad tiene el acto instintivo de lamerse las heridas que realizan algunos animales?
- 2.- ¿En qué consiste un proceso inflamatorio? ¿Qué finalidad tiene?
- 3.- ¿A qué se llama sistema inmunitario?
- 4.- Indica las funciones de los linfocitos T y B.
- 5.- ¿Por qué las células plasmáticas tienen en su citoplasma un retículo endoplasmático rugoso muy desarrollado?
- 6.- Describe la estructura de una molécula de anticuerpo.
- 7.- ¿Qué diferencias existen entre las inmunoglobulinas Ig M y las Ig G?
- 8.- ¿Qué es la opsonización y para qué se realiza?
- 9.- Enumera tres diferencias entre la respuesta inmune primaria y la secundaria.
- 10.- ¿Qué se entiende por memoria inmunológica? ¿En qué bases fisiológicas se asienta esta memoria inmunológica?
- 11.- ¿A qué se llama complejo principal de histocompatibilidad?
- 11.- ¿Qué tipos de linfocitos T existen?
- 12.- ¿Por qué las células NK deberían incluirse entre las defensas inespecíficas a pesar de ser linfocitos?
- 13.- ¿Qué es el interferón?
- 14.- Realiza un esquema comparativo en el que anotes los distintos niveles de defensa de un organismo contra la infección.
- 15.- Describa la estructura de la inmunoglobulina G e indique sus principales características. ¿Por qué se considera la estructura de la IgG modelo para las cinco clases de inmunoglobulinas? (Opción B-Junio 2003).
- 16.- Explique qué son los antígenos, cuál puede ser su naturaleza química, sus principales características y la respuesta que desencadenan en el organismo. (Opción B)
- 17.- Diga qué son los linfocitos, dónde se producen y dónde maduran, y cómo se llama y en qué consiste la respuesta que producen. (Opción B- Junio 2001)
- 18.- Al someter a la inoculación de un determinado antígeno a dos gemelos univitelinos, A y B, se observa que A produce en 5 días una cantidad de anticuerpos que B tarda unos 20 días en producir. Proponga una explicación razonada lo más completa posible para este desigual comportamiento de los gemelos. (Opción A- Junio 2001)

19.- Realice una breve descripción de, al menos, tres mecanismos inespecíficos de defensa orgánica frente a las infecciones. (Opción B)

20.- Explique en qué consiste la respuesta inmunitaria celular. ¿Qué células están implicadas en este tipo de respuesta? Describa las funciones de cada uno de estos tipos de células. (Opción A-Junio 2002)

21.- ¿Qué significa diapedéesis? ¿Qué células poseen esta capacidad? ¿Qué ventajas conlleva?

22.- En células plasmáticas hay una estructura que destaca en su citoplasma. ¿Cuál es? ¿Qué sentido crees que tiene?

23.- ¿Qué es la memoria inmune? ¿Qué base fisiológica la sustenta?

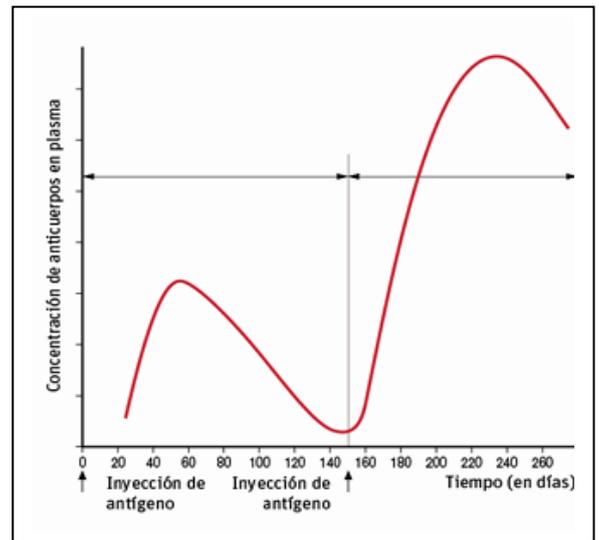
24.- Estudia la siguiente gráfica y responde.

a) ¿Qué proceso representa? ¿Qué indican las dos flechas situadas sobre la gráfica?

b) ¿Qué debe ocurrir para que se desencadene la respuesta inmune?

c) Enumera las diferencias principales que existen entre estos dos procesos.

d) ¿Qué clase de anticuerpos se generan en cada uno de los procesos?



25.- Con respecto al sistema inmune, contesta:

a) ¿Qué tipo de biomoléculas son los anticuerpos?

b) ¿Qué tipo de biomoléculas son los antígenos?

c) ¿Cuáles son las características fundamentales de la reacción antígeno-anticuerpo?

d) ¿Qué células del organismo producen anticuerpos?

26.- Un estudio sobre la evolución de los procesos infecciosos en niños de 0 a 3 años revela lo siguiente:

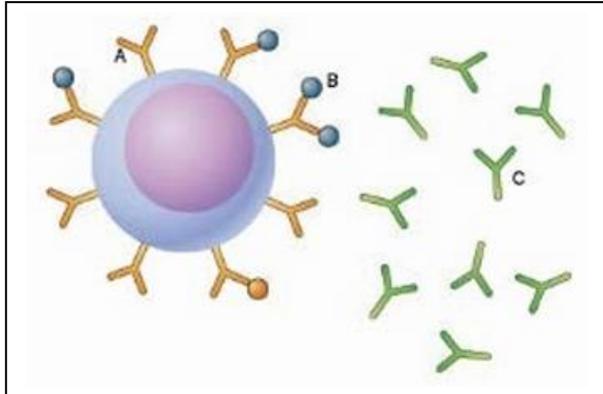
“Existe una enorme incidencia de los procesos infecciosos a lo largo del primer año de escolarización, que disminuye sensiblemente en los años sucesivos hasta igualarse, en el tercer año, con la prevalencia de estos procesos en niños que han permanecido en casa sin escolarizar. La etapa de los 0 a los 3 años es la de mayor susceptibilidad a las infecciones, y los mecanismos de transmisión más frecuentes son la vía fecal-oral y la respiratoria”.

Da una explicación a este hecho y establece una relación con el desarrollo del sistema inmunitario.

27.- ¿Qué explicación puedes dar al hecho de que un individuo pueda sufrir una enfermedad como el sarampión solo una vez en su vida? ¿Por qué no ocurre lo mismo con otras dolencias como la gripe?

28.- El esquema representa una célula del sistema inmunitario que interacciona, por primera vez, con un antígeno.

- a) ¿Qué tipo de célula es la que se muestra en el esquema de arriba?
- b) ¿Qué simbolizan las moléculas A, B y C?
- c) ¿Habría alguna diferencia si el esquema representase un segundo contacto con el antígeno?



29.- Relaciona los términos de las dos columnas sobre la inmunidad.

Linfocitos B

Inmunidad celular

Células NK

Complejo MHC

Macrófagos

Células plasmáticas

Linfocitos colaboradores

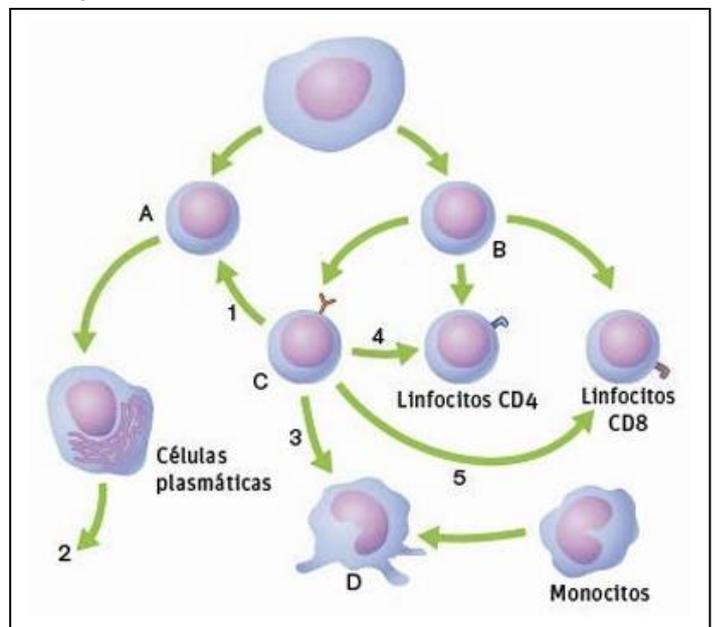
IgG

Respuesta inmune secundaria

Células de órganos trasplantados

30.- Observa el siguiente esquema y responde a las siguientes cuestiones:

- a) Explica, de modo muy general, lo que representa.
- b) Identifica qué células son A, B, C y D.
- c) Indica qué sustancias o qué procesos representan los números 1, 2, 3, 4 y 5.



31.- En el sistema defensivo del organismo existen células fagocíticas.

a) Cita dos de estas células y señala a qué tipo de defensa pertenecen.

b) Describe en qué consiste el mecanismo de la fagocitosis y cuáles son sus etapas.

32.- En una transfusión de sangre, es muy importante tener en cuenta que los glóbulos rojos del donante son células extrañas para el receptor. En la superficie de los glóbulos rojos hay moléculas que el receptor va a percibir como antígenos. Se trata del sistema ABO.

Sus posibles combinaciones originan los cuatro grupos de glóbulos rojos que se conocen:

- A, con antígeno A.
- B, con antígeno B.
- AB, con los dos.
- O, con hematíes sin antígenos.

Explica qué pasará si una persona del grupo A recibe una transfusión de un donante del grupo B.

33.- Define el concepto de inmunidad. Describe brevemente los tipos de inmunidad celular y humoral, e indica qué clases de linfocitos intervienen en cada una de ellas.

34.- Si se trasplanta un órgano de una persona a otra, el trasplantado debe seguir un tratamiento de inmunosupresión. Sin embargo, a una persona que resultó quemada en un brazo, se le trasplantó piel de su espalda a la zona quemada y los médicos no le recetaron ningún tratamiento de inmunosupresión. Razone por qué en un caso se recetan inmunosupresores y en otro no.

35.- Contesta:

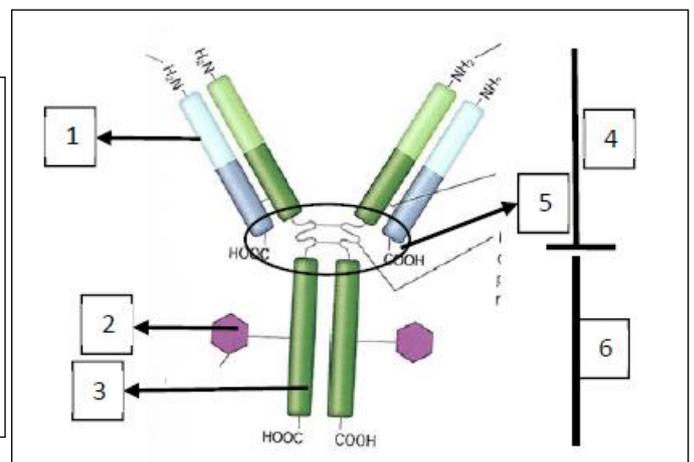
a) En la siguiente lista se presentan una serie de elementos o procesos relacionados con el sistema inmune: Linfocitos T, Anticuerpos, Complemento, Inflamación, Linfocitos B, Memoria inmunológica, Respuesta específica a un antígeno, Macrófagos. Inclúyelos en uno de estos dos grupos: Inmunidad Innata o Inmunidad Adquirida.

b) ¿Cuál es la principal diferencia entre estos dos tipos de sistemas de defensa?

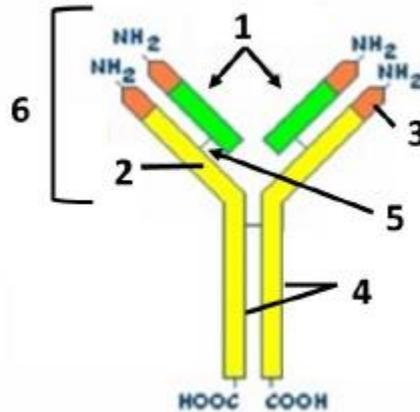
c) ¿Estaríamos mejor adaptados a nuestro entorno si, por azar, durante la evolución hubiéramos perdido los genes que son responsables de la inmunidad innata? Razone la respuesta.

36.- Sobre la imagen siguiente, contesta a las siguientes cuestiones:

- a) ¿Qué significa el término "inmunidad"? ¿Qué tipos hay?
- b) Identifica la estructura de la imagen. Define el concepto. ¿Qué otro nombre reciben?
- c) Nombra las partes señaladas con los números 1 a 6?



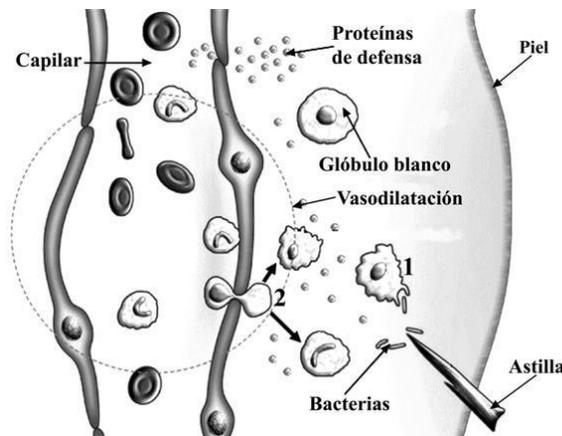
37.-Defina la molécula del esquema, indicando las células que las producen. Indique los nombres de cada una de las partes señaladas en el dibujo con números.



38.- En relación con la figura adjunta, conteste las siguientes cuestiones:

(a) Nombre el proceso general que se representa en la imagen (0,2). Indique la acción que realiza la célula señalada con el número 1 y el tipo de célula de que se trata (0,2). Cite dos síntomas característicos de este proceso (0,2; 0,1 cada uno). Describa la acción señalada con el número 2 (0,4)].

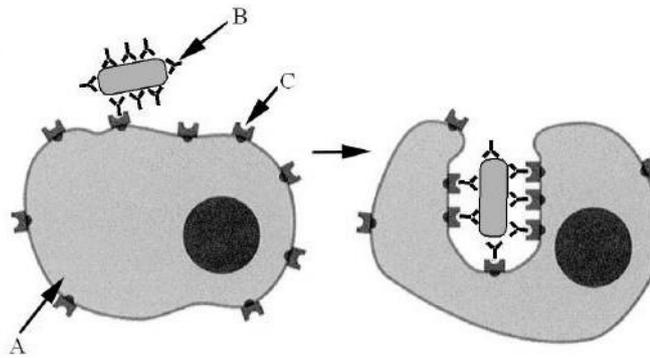
(b) Explique las consecuencias de la vasodilatación (0,5). Indique si este proceso forma parte de las defensas específicas o inespecíficas (0,5). (Propuesto 2.010)



39.- A la vista de la imagen que muestra un proceso celular, conteste las siguientes cuestiones:

(a) Identifique las células o moléculas indicadas como A, B y C (0,3). Nombre el proceso que transcurre en la imagen de la derecha (0,2). Explique el mecanismo que ocurre desde que la partícula recubierta por B es reconocida hasta que es incorporada totalmente por la célula A (0,5). Cite otro proceso en el que interviene la célula A (0,25).

(b) Indique la importancia de este proceso para el organismo (0,4). ¿Qué células producen la molécula señalada como B? (0,2). Indique la composición química, estructura y funciones que desempeñan las distintas partes de la molécula B (0,6). ¿Qué funciones desempeñan las distintas partes de esta molécula? (0,4). (Propuesto 2.007, 2.017)

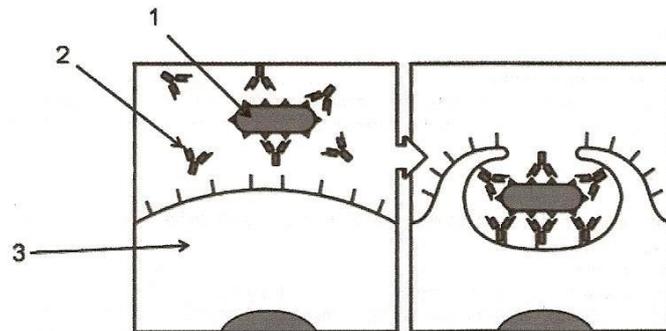


40.- En relación con la figura adjunta, conteste las siguientes cuestiones:

(a) Identifique las células o moléculas señaladas con números (0,3). Nombre el proceso que transcurre en la imagen de la derecha (0,2). Explique lo que sucede desde que la célula número 1 queda recubierta por las partículas número 2 hasta que es incorporada totalmente por la célula 3 (0,5).

(b) Indique la importancia de este proceso para el organismo (0,4).

¿Qué células producen la molécula señalada con el número 2? (0,2). Describa la estructura de dicha molécula (0,4). (Propuesto 2.011)



41.- El siguiente esquema representa la cantidad de anticuerpo en la sangre tras la inyección de dos antígenos diferentes:

(a) Explique a qué se debe la mayor respuesta frente al antígeno A tras la segunda inyección (0,5). ¿Por qué no se observa la misma respuesta en el caso del antígeno B? (0,5).

(b) ¿Qué células son responsables de la producción de anticuerpos? (0,2). Dibuje la estructura básica de un anticuerpo (0,2). Localice en el dibujo las regiones variable y constante e indique su función (0,2). ¿Qué tratamiento médico se basa en la capacidad de respuesta que se observa en la gráfica? (0,2). Explíquelo con un ejemplo (0,2). (Propuesto 2.008)

