



RESUMENES

Andrea Alejandra albores López

Parcial I

Inmunología

Dr. Juan Carlos Gómez Vázquez

Licenciatura en medicina humana

Cuarto semestre grupo "C"

Comitán de Domínguez Chiapas a 07 de marzo de 2025

INTRODUCCIÓN

El sistema inmunológico es una red compleja y fascinante de células, órganos y tejidos que trabajan de manera coordinada para garantizar la protección del organismo y mantener la homeostasis. Este sistema se encarga de identificar y neutralizar agentes extraños, como bacterias, virus y otros patógenos, mientras preserva la tolerancia hacia los componentes propios del cuerpo. Entre las células inmunológicas más destacadas se encuentran los linfocitos T y B, las células presentadoras de antígenos (APCs) y las células efectoras, las cuales desempeñan funciones cruciales en la vigilancia inmunitaria, la activación de las respuestas inmunes y la eliminación de amenazas.

El sistema inmunológico no actúa en el vacío; requiere de una infraestructura especializada que facilite el desarrollo y la interacción de sus componentes. Los órganos linfoides primarios, como el timo y la médula ósea, son el lugar donde los linfocitos maduran y adquieren su capacidad funcional. Por otro lado, los órganos linfoides secundarios, como los ganglios linfáticos, el bazo y el tejido linfoide asociado a mucosas (MALT), proporcionan un entorno donde las células inmunológicas pueden interactuar entre sí y con los antígenos, asegurando respuestas rápidas y específicas ante las amenazas.

A lo largo de la historia, el entendimiento de este sistema ha permitido avances significativos en la medicina moderna, desde la creación de vacunas que han erradicado enfermedades devastadoras hasta el desarrollo de terapias inmunológicas para combatir el cáncer y las enfermedades autoinmunes. Estudiar el sistema inmunológico es, por tanto, un viaje hacia la comprensión de una maquinaria biológica intrincada y sorprendente, que no solo protege nuestras vidas, sino que también inspira nuevas fronteras en la investigación médica.

RESUMEN 1er Tema

La inmunidad es uno de los pilares fundamentales en el estudio del cuerpo humano y su capacidad para enfrentar y superar las amenazas externas, como bacterias, virus y otros patógenos. Comprenderla implica recorrer un camino que abarca la historia, los principios básicos de la inmunología y su trascendencia en la medicina moderna.

Historia y evolución de la inmunidad

El concepto de inmunidad tiene sus raíces en las observaciones de las antiguas civilizaciones. En Egipto y China, se notó que aquellos que sobrevivían a ciertas enfermedades no volvían a enfermarse por la misma dolencia, lo que dio origen a la idea de "protección" contra futuras infecciones. No obstante, fue en 1796 cuando Edward Jenner revolucionó este campo al desarrollar la primera vacuna contra la viruela, utilizando material del virus de la viruela bovina. Este descubrimiento marcó el inicio de la inmunología como ciencia.

Posteriormente, en el siglo XIX, Louis Pasteur sentó las bases de la teoría germinal de las enfermedades y perfeccionó técnicas de vacunación. Al mismo tiempo, Robert Koch identificó microorganismos específicos como agentes causantes de enfermedades, allanando el camino para entender cómo el cuerpo humano los combate. A medida que el siglo XX avanzaba, se hicieron descubrimientos clave, como el papel de los anticuerpos, las células inmunológicas y las citoquinas, que consolidaron a la inmunología como una disciplina esencial para la salud. En las últimas décadas, los avances en biología molecular han permitido explorar los aspectos más profundos del sistema inmunológico, como su relación con enfermedades crónicas, cáncer y terapias avanzadas, incluyendo la inmunoterapia.

Principios básicos de la inmunología

La inmunología se basa en tres principios fundamentales que explican cómo el sistema inmunológico protege al organismo:

Reconocimiento de lo propio y lo extraño: El sistema inmunológico distingue entre las moléculas propias del cuerpo y las extrañas (antígenos), iniciando una respuesta cuando detecta amenazas.

Respuestas inmunes: Estas pueden dividirse en dos grandes categorías: la inmunidad innata, que actúa como la primera línea de defensa, y la inmunidad adaptativa, que se especializa en ataques precisos y desarrolla memoria inmunológica.

Memoria inmunológica: Una característica única del sistema inmune adaptativo es su capacidad de "recordar" encuentros previos con patógenos, lo que permite una respuesta más rápida y eficaz ante infecciones recurrentes.

Estos principios son esenciales para entender cómo las células y moléculas del sistema inmunológico interactúan para proteger al organismo mientras mantienen el equilibrio (homeostasis) y evitan respuestas descontroladas que podrían dañar al propio cuerpo, como ocurre en las enfermedades autoinmunes.

Importancia de la inmunología en la medicina

La inmunología ha revolucionado la medicina en múltiples aspectos. En el ámbito preventivo, las vacunas han sido herramientas cruciales para erradicar enfermedades devastadoras como la viruela y para controlar otras como el sarampión y la poliomielitis. Además, el estudio del sistema inmunológico ha permitido el desarrollo de tratamientos personalizados en áreas como la oncología, donde la inmunoterapia ha demostrado ser eficaz contra diversos tipos de cáncer.

En el campo de los trasplantes, la inmunología ha mejorado significativamente las tasas de éxito gracias al entendimiento de la compatibilidad entre donante y receptor, así como al desarrollo de medicamentos inmunosupresores. También ha proporcionado un marco para comprender y tratar enfermedades autoinmunes, alergias e inmunodeficiencias, que afectan a millones de personas en todo el mundo.

Por último, la investigación inmunológica continúa avanzando en áreas como las terapias génicas, el diseño de vacunas contra enfermedades emergentes y la comprensión de la interacción entre el sistema inmunológico y el microbioma. Estos avances prometen transformar aún más la práctica médica, beneficiando a generaciones futuras.

ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA INMUNE

El **Sistema Inmune** actúa gracias a la participación de diferentes poblaciones celulares conocidas como **células inmunocompetentes**. Estas células, que mayoritariamente son leucocitos, que encuentran en todo el organismo y principalmente en los órganos linfoides.

Estos órganos linfoides, se comunican entre sí a través de la circulación sanguínea y linfática que es por donde circulan estas células de unos lugares a otros. Esto hace posible el encuentro de las células inmunocompetentes con los antígenos y además que ellas mismas interactúen, aspectos éstos que son necesarios para una respuesta inmune adecuada.

Células inmunocompetentes: Las células con función inmune más relevante son los leucocitos o células blancas entre los cuales se encuentran diferentes subtipos dependiendo de su estructura y función. Entre ellos destacan los neutrófilos, eosinófilos, basófilos, mastocitos, monocitos, macrófagos, linfocitos B, linfocitos T, células NK, células NKT y células dendríticas. De todas ellas veremos cómo se diferencian y sus principales características funcionales.

Diferenciación células inmunocompetentes.

Las células con función inmune proceden por diferenciación de las células madre CD34⁺ presentes en la médula ósea. Este proceso se conoce como hematopoyesis.

En concreto de las células madre pluripotentes, se diferencian, hacia dos tipos distintos de células algo más maduras. Son los **progenitores mielomonocíticos** y los **progenitores de leucocitos** o glóbulos blancos. Estos procesos de diferenciación no ocurren al azar, sino que están estrechamente regulados por sustancias conocidas como factores estimuladores de colonias producidos por el estroma y macrófagos de la médula ósea.

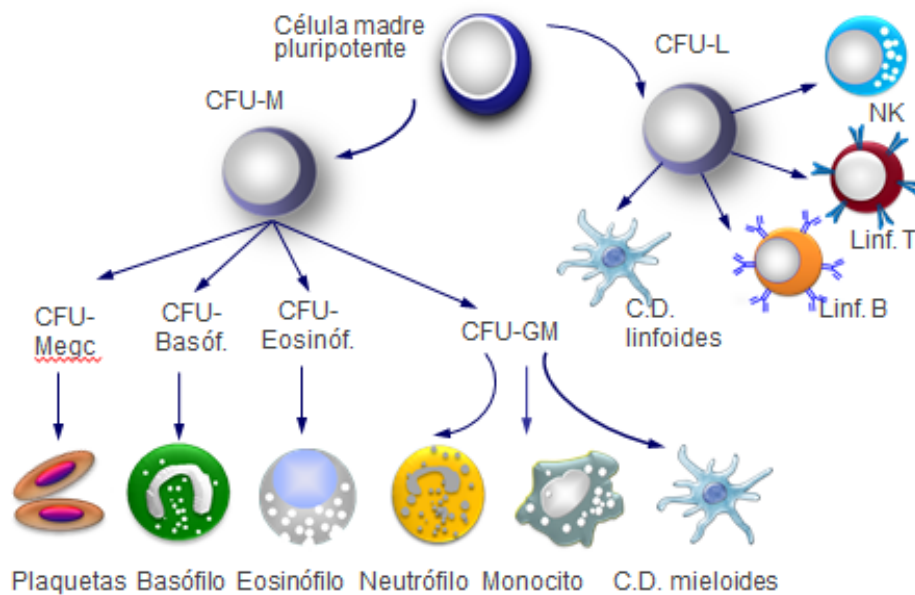
Leucocitos en sangre			
Núcleo	Célula	%	Función prioritaria
Unicelulares	Linfocitos	20-50	Respuesta específica
	Células NK	5-10	Respuesta inespecífica
	Monocitos	1-5	Fagocitosis
	Dendríticas	0.3	Presentación ags
Polinucleares	Neutrófilos	40-75	Fagocitosis
	Basófilos	0.5	Inductores de alergia
	Eosinófilos	5-7	Antiparasitos

Los progenitores mielo-monocíticos, se diferencian a su vez en siete líneas celulares que, tras diferentes grados de maduración, terminan formando los eritrocitos, plaquetas, basófilos, eosinófilos, neutrófilos, monocitos y células dendríticas mielomonocíticas.

Por otra parte, los progenitores linfocíticos, se diferenciarán en linfocitos T, linfocitos B, células NK y células dendríticas entre otras (Figura: Hematopoyesis). A continuación, haremos referencia tanto a las células con función inmune como a la organización y funciones de los órganos linfoides.

Tipos de células inmunocompetentes

Entre las células con función inmune más relevante destacan los neutrófilos, eosinófilos, basófilos, mastocitos, monocitos, macrófagos, linfocitos B, linfocitos T; células NK, células NKT y células dendríticas. Vemos algunos de sus aspectos diferenciales.

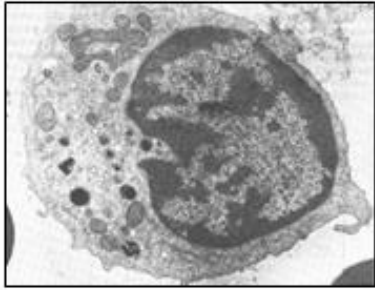


Hematopoyesis. Proceso hematopoyético por el que las células madre pluripotentes se diferencian en células de estirpe mieloide y linfoide que darán lugar a glóbulos rojos, plaquetas y los diferentes tipos de leucocitos o glóbulos blancos, tales como monocitos, neutrófilos, eosinófilos, basófilos, Células dendríticas, linfocitos y células NK.

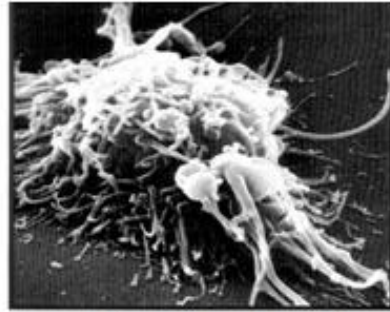
Neutrófilos.

Estas células, que pertenecen al grupo de leucocitos polimorfonucleares, tienen como función principal la de fagocitar y destruir patógenos. Se encuentran en continua renovación debido a que su vida media es de tan sólo varios días. Son células de gran tamaño con un núcleo segmentado en varios lóbulos y gran cantidad de gránulos en su citoplasma con enzimas líticas con capacidad de destruir microorganismos. Tienen un origen similar a los macrófagos ya que proceden de un precursor común, la **unidad formadora de colonias granulocítico-macrofágicas CFU-GM**, presente

en la médula ósea (Figura: Leucocitos polinucleares).



Célula NK. Ultraestructura de una célula NK donde se observan abundantes gránulos citoplasmáticos.



Célula dendrítica. Microscopía electrónica de una célula dendrítica en cuya superficie se observan múltiples prolongaciones.

Eosinófilos

Pertenecen la familia de los polimorfonucleares, están recubiertos de IgE e IgG y son muy ricos en gránulos repletos de histamina que la vierten al exterior produciendo fuertes respuestas inflamatorias. Cuando son estimulados pueden dañar la membrana de los parásitos debido a la propiedad que tienen estas células de unirse a ellos (Figura: Leucocitos polinucleares).

Basófilos y Mastocitos

Los basófilos suelen encontrarse en la circulación, mientras que los mastocitos esencialmente se ubican en los tejidos. Ambos tipos celulares poseen receptores para el extremo Fc de las Igs y participan en **reacciones alérgicas**, como consecuencia de la liberación de sus gránulos el mediador **histamina** (Figura: Leucocitos polinucleares).

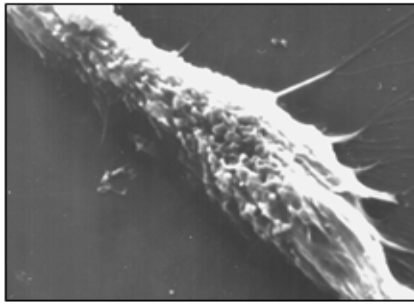
Monocitos y Macrófagos

Los monocitos normalmente se encuentran circulando en sangre, mientras que los macrófagos se encuentran en los tejidos. Los monocitos son células grandes con un solo núcleo, expresan CD14, poseen un aparato de Golgi muy desarrollado, gran cantidad de lisosomas muy ricos en enzimas, tales como proteasas, peroxidasa y lipasas.

Cuando los monocitos se encuentran en los tejidos, sufren ciertas modificaciones y se les conoce como macrófagos, aunque pueden recibir distintos nombres según el tejido donde se encuentran (Tabla: Leucocitos en sangre).

La función principal de estas células es la de fagocitar cuerpos extraños como bacterias y sustancias de desecho de los tejidos. También en ciertas circunstancias actuar como células presentadoras de antígenos y produciendo citocinas pro inflamatorias TNF- α , IL-1 e IL-6. Así mismo, estas células poseen capacidad de adherirse a los tejidos, de moverse sobre los mismos (quimiotaxis) y pueden

sobrevivir al menos durante meses (Figura: Macrófago)



Denominación macrófagos	
Localización	Denominación
Sangre	Monocitos
Tejido conectivo	Histiocitos
Hígado	Células de kupffer
Pulmón	Macrófagos
Hueso	Osteoclastos
Sistema nervioso	Células microglía
Cavidad peritoneal	Macrófagos peritoneales

Macrófagos. Microscopía electrónica de barrido de un macrófago adherido a una superficie. Se observan múltiples prolongaciones propias de este tipo celular. Denominación de los macrófagos según el tejido donde se encuentran.

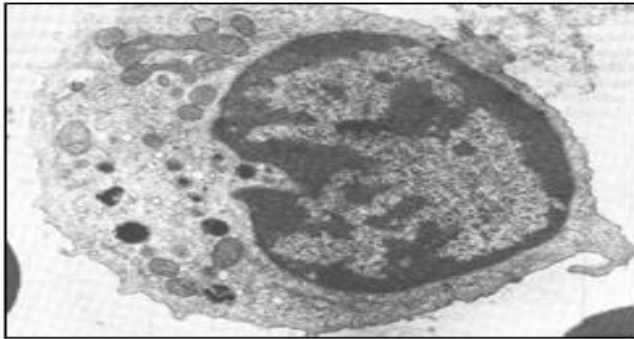
Linfocitos

Estas células poseen un núcleo muy voluminoso y sufren un proceso muy complejo de maduración desde las **células madre progenitoras**. En humanos, maduran bien en la médula ósea (los linfocitos B) o en el timo (los linfocitos T) (Figura: Linfocito).

Linfocitos B. Estas células se caracterizan por producir inmunoglobulinas y las moléculas CD19, CD35, CD21 y MHC II. Cuando los linfocitos B se activan se transforman en **células plasmáticas** que son más grandes, muy ricas en retículo endoplásmico y están especializadas en la síntesis y secreción de grandes cantidades de Igs. También se, mientras que las **células memoria**, preparadas para actuar en caso de una nueva entrada del agente causante de la activación anterior (Figura: Célula plasmática). Las Igs producidas por estos linfocitos B, pueden quedar unidas a la membrana donde actúan como receptores específicos de antígenos o bien ser secretadas, en cuyo caso actúan identificando y neutralizando antígenos.

Linfocitos T. Estos linfocitos poseen **receptores de células T (TCR)** que reconocen péptidos antigénicos unidos a moléculas de histocompatibilidad. Fenotípicamente se caracterizan por expresar la CD3, CD2 y CD7 y son los responsables más directos de la respuesta inmune celular. Estas células maduran en el timo donde van adquiriendo una serie de moléculas en su superficie que después tendrán aspectos funcionales de relevancia. Los linfocitos T presentes en sangre representan alrededor del 40-60% del total de linfocitos periféricos y son una población celular muy

heterogénea formada por varios tipos celulares con funciones diferenciadas. Entre ellas destacan:



Célula NK. Ultraestructura de una célula NK donde se observan abundantes gránulos citoplasmáticos.

Linfocitos T de colaboración (Th), que se caracterizan por producir citocinas participando de manera importante en el desarrollo de la respuesta inmune. Estas células pueden ser de dos tipos Th1 y Th2. El tipo Th1 promueve la respuesta celular (IFN, IL-2 e IL-12), mientras que el tipo Th2 promueven la respuesta humoral, (IL-4, IL-5, IL-6, IL-10). Fenotípicamente son CD3+ y CD4+ y su receptor reconocen moléculas HLA de tipo II.

Linfocitos T citotóxicas (Tc o CTL), poseen capacidad destructora de otras células (citotoxicidad). Son pues importantes en la respuesta inmune celular destruyendo células infectadas por virus, células tumorales, etc. Fenotípicamente son CD3 + y CD8+ y reconocen a las moléculas HLA de tipo I. También se les conoce como CTLs y

Linfocitos T reguladoras (Tr), Como su nombre indica, su función principal es la de regular la activación y funcionalidad de otros linfocitos regulando así la respuesta inmune. Son, por ello, de gran relevancia en los procesos de **tolerancia** y en el desarrollo de enfermedades autoinmunes. Pueden ser de varios tipos, siendo las más comunes CD4+, CD25+ FoxP3+.

Células NK

Recientemente se observó que ciertos linfocitos obtenidos de individuos sanos eran capaces de destruir células tumorales sin que existiera sensibilización previa. A esta capacidad destructiva mediada por estas células se denominó **citotoxicidad natural** y a las células responsables en desarrollar esta actividad se les denominó **natural killer (NK)** o **células asesinas naturales**.

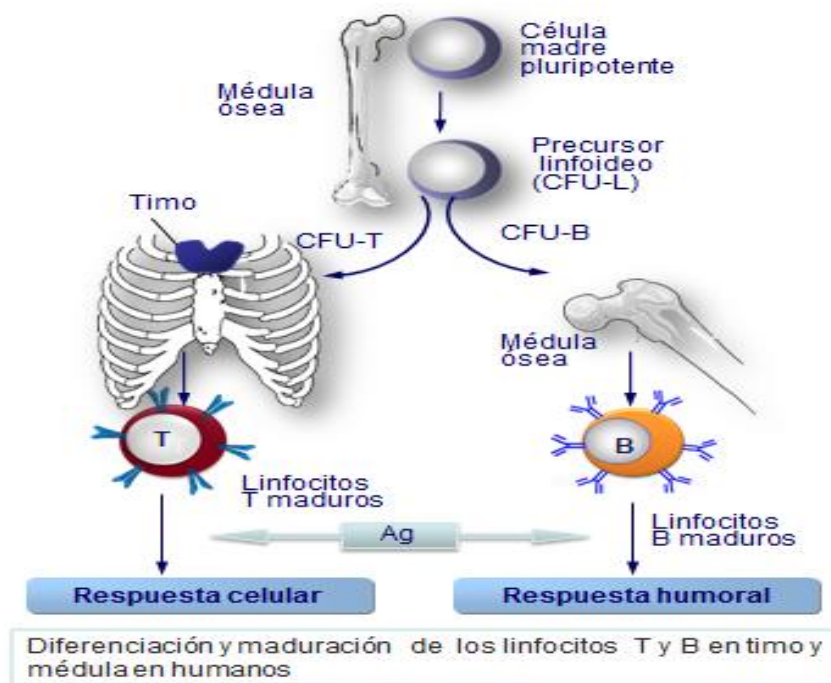
Morfológicamente son células grandes con abundantes gránulos contenedores de sustancias citotóxicas (Figura: Célula NK). Tienen la capacidad de frenar el crecimiento de células tumorales impidiendo su expansión, así como destruir células infectadas por virus. Ello se debe a su alta capacidad destructora, que puede ser directa, **citotoxicidad celular directa** o bien mediada por anticuerpos como **citotoxicidad mediada por anticuerpos (ADCC)**.

Estas células representan el 10% de las células mononucleares de sangre periférica y no poseen marcadores, ni de los linfocitos T ni de los linfocitos B. Fenotípicamente las células NK se definen como linfocitos CD3-, CD56+, CD16+ y poseen receptores de varios tipos. Uno es el CD16, responsable de la citotoxicidad ADCC antes mencionada, y otros poseen capacidad reguladora de la citotoxicidad, como *KIRs (Killer immunoglobulin-like receptors)* y *los NCRs (Natural cytotoxicity receptors)*.

Según los niveles de expresión de CD56 se pueden diferenciar dos poblaciones NK, NKdim y NKbright. Las primeras poseen una función predominantemente citotóxica y las segundas poseen mayor capacidad secretora de citocinas. Se cree que el proceso de maduración de las células NK se efectúa en parte en el timo y en parte fuera del mismo en órganos linfoides periféricos.

Células NKT

Las células NKT (Natural Killer T cells) son un tipo especial de linfocitos que desempeñan funciones parecidas tanto a las células T colaboradoras como a las T citotóxicas y, además, presentan marcadores específicos de células NK y de células T. A diferencia de los linfocitos T, las células NKT reconocen glicolípidos presentados por la molécula CD1d.



Células Dendríticas

Las células dendríticas (DC) son las **células presentadoras de antígenos (APCs)** por excelencia y además poseen la capacidad de transportar estos antígenos desde los tejidos hasta los ganglios. Se encuentran distribuidos por todos los tejidos. Las células dendríticas derivan de progenitores de la médula ósea y circulan por la sangre como precursores inmaduros hasta que migran a los tejidos donde maduran y se diferencian (Figura: Célula dendrítica). Hay dos categorías de células CD según su origen y función: DC mieloides que facilitan la respuesta T mediada por Th1 y requieren GM-CSF para sobrevivir y las DC plasmacitoides que inducen respuestas T de tipo Th2. Las CD intervienen en

mecanismos involucrados tanto en la respuesta innata como en la adquirida, por lo que son de interés debido a su papel clave en las respuestas anticáncer y antiviral. De ahí que exista gran expectativa en su uso en vacunas, así como por su participación en mecanismos de tolerancia inmunológica.

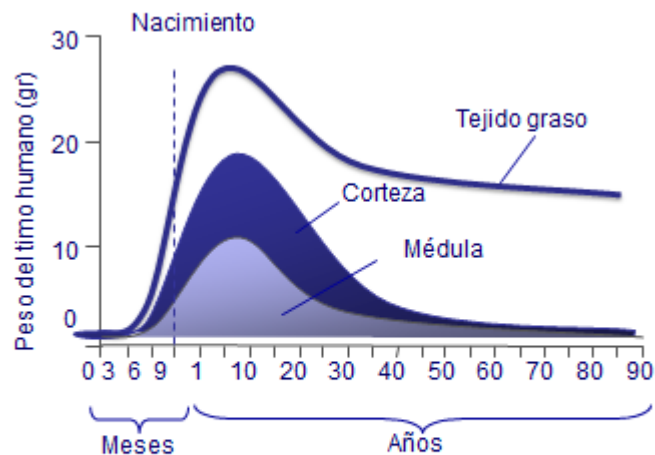
Órganos linfoides

Las células que componen el sistema linfoides se agrupan en órganos discretamente encapsulados que reciben en su conjunto el nombre de **sistema linfoides**. Estos órganos desde el punto de vista funcional se dividen en **órganos linfoides primarios**, en los que se producen la diferenciación de linfocitos y en órganos **linfoides secundarios** en los que se agrupan células de diferentes tipos para desarrollar la respuesta inmune.

Órganos linfoides primarios

Los órganos linfoides primarios son la médula ósea y el timo, donde maduran los linfocitos B y T respectivamente y aprenden a discriminar entre antígenos propios (**autoantígenos**), que serán tolerados y antígenos extraños en cuya destrucción colaborarán una vez maduros.

La médula ósea está formada por un tejido esponjoso de color rojizo que se encuentra en el interior de los grandes huesos y albergan una gran cantidad de células madre de donde derivan las restantes células de la sangre, entre ellas los leucocitos. Aquí maduran los linfocitos B a través de un proceso conocido como **linfopoyesis B** que es independiente de los estímulos antigénicos. En este proceso, que se inicia a partir de las **células progenitoras B (CFU-B)**, se van formando progresivamente células pre-pre-B, células pre-B, células B inmaduras y finalmente de linfocitos B



Timo. Esquema representativo de la evolución del peso del timo en el periodo fetal, infancia y periodo adulto en humanos.

maduros (Figura: Linfopoyesis B).

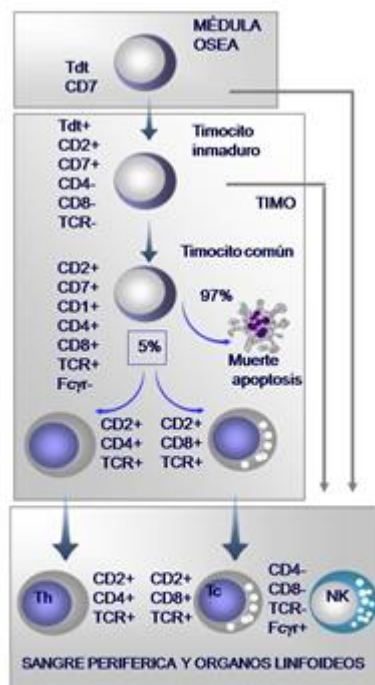
El Timo

El timo es un órgano situado en la parte superior del mediastino anterior y es donde maduran los linfocitos T. El timo presenta su máximo desarrollo en el feto a partir de los últimos meses de gestación y hasta la adolescencia. A partir de los 18-20 años comienza un proceso atrófico y

degenerativo con gran invasión grasa, de tal forma que en las personas mayores de 65 años sólo quedan residuos funcionales del mismo (Figura: Evolución tímica).

El timo está constituido por una malla de células epiteliales rellena de células, **timocitos**, que es como se denominan a los linfocitos en fase de maduración en el timo. El timo se organiza en lobulillos tabicados por trabéculas conjuntivas y dentro de cada uno de ellos se distingue una zona externa o corteza, que contiene la gran mayoría de los timocitos, y una zona interna o medular que es pobre en timocitos. (Figura: Folículos tímicos).

En la médula existen, además, unas estructuras denominadas corpúsculos de Hassal formados por células epiteliales y macrófagos dispuestos de forma concéntrica. Las células epiteliales del timo, tanto de la corteza como de la médula, expresan altas cantidades de moléculas de histocompatibilidad, imprescindibles para el reconocimiento de antígenos propios por los linfocitos

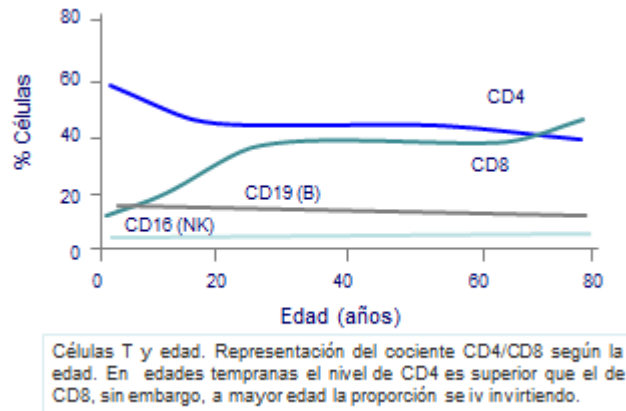


Esquema del proceso de maduración de los linfocitos T y células NK en el timo.

T.

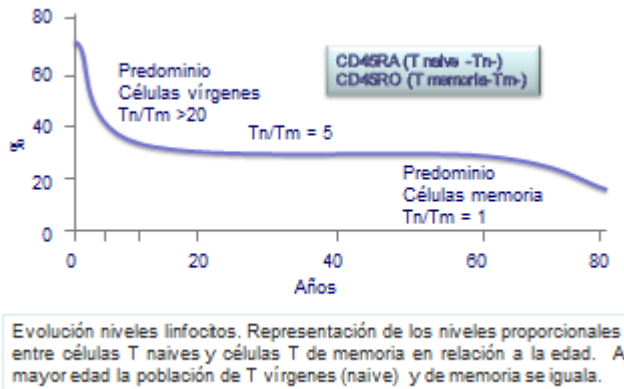
La maduración de los linfocitos T en el timo o **linfopoyesis T** comienza con la llegada de sus precursores al timo procedentes de la médula ósea. Durante este proceso mueren la mayoría de los timocitos, aprox. el 95 % de ellos. Estos timocitos que mueren son precisamente los que reconocen a los antígenos propios del organismo, mientras que el resto, 3-4%, abandonarán el timo, vía sanguínea, como linfocitos T maduros. Todo ello se realiza mediante un doble proceso conocido

como selección positiva y negativa que estudiaremos en el capítulo dedicado al receptor de los



linfocitos T.

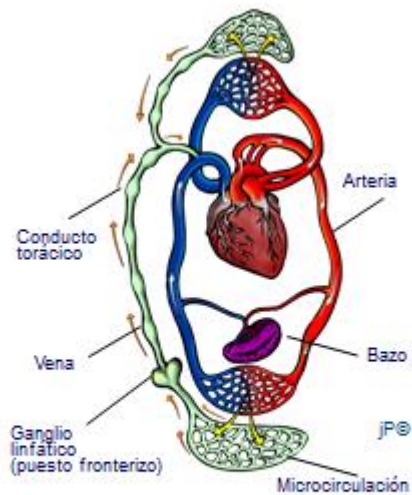
Durante el proceso de maduración intratímico, los timocitos adquieren una serie de moléculas nuevas en su superficie. Así los timocitos más inmaduros no expresan CD3, CD4 ni CD8, por lo que son conocidos como células triples negativas.



A medida que van madurando, en estas células se produce la reorganización del TCR y expresan CD3 y las moléculas CD4 y CD8 conjuntamente (células dobles positivas), para después perder una u otra quedando bien como CD4-CD8+ o como CD4+CD8- (Figura: Selección tímica).

Todavía en el timo ocurre una especialización funcional de células que expresan el receptor CD4, que serán los precursores inmediatos de los *linfocitos T*, y de otras que expresarán el receptor CD8 que darán origen a los *linfocitos T citotóxicos* circulantes.

Estos linfocitos colonizan los órganos linfoides secundarios, situándose en la zona paracortical de los ganglios linfáticos y vainas paracorticales linfocíticas del bazo.



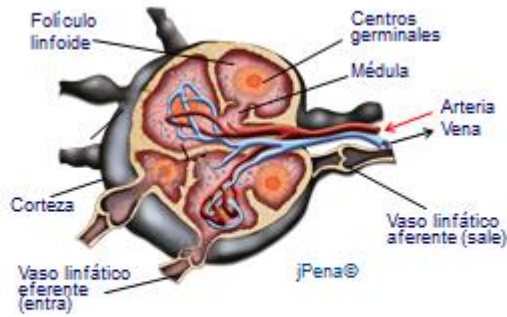
Circulación linfática. Organización general de la circulación linfática con indicación de los capilares linfáticos, uno de los múltiples ganglios y el conducto torácico.

Por último, hemos de decir que, a lo largo de la vida, en el ser humano van cambiando las proporciones de linfocitos en sangre. Así en los primeros meses hay un predominio de las células vírgenes, mientras que la proporción de linfocitos memoria aumenta en edades avanzadas (Figura: Niveles linfocitos T). También se observa un aumento progresivo en sangre de células CD8 a lo largo de la vida y un leve descenso de CD4 (Figura: Ratio)

Órganos linfoides secundarios

Entre los órganos linfoides secundarios se encuentran el bazo, los ganglios linfáticos y **tejido linfoide asociado a mucosas (MALT)**, que proporcionan el medio idóneo en el que las células del sistema inmune (macrófagos, células presentadoras de antígenos, linfocitos T y B) pueden interactuar entre sí y con los antígenos. Una vez que los linfocitos B y T abandonan los órganos primarios donde han madurado, pasan al torrente circulatorio, a través del cual se mueven por todos los tejidos del organismo, y alcanzan de nuevo los ganglios linfáticos, y así sucesivamente.

Si se analiza la cantidad de linfocitos en cada uno de los compartimentos, se observa que la mayor parte de los linfocitos se encuentran en los órganos linfoides, mientras que en la sangre y el bazo se encuentra una proporción baja de los mismos. Esto hace que, por su gran importancia en el desarrollo de la defensa del organismo, estudiemos brevemente cada uno de estos órganos.

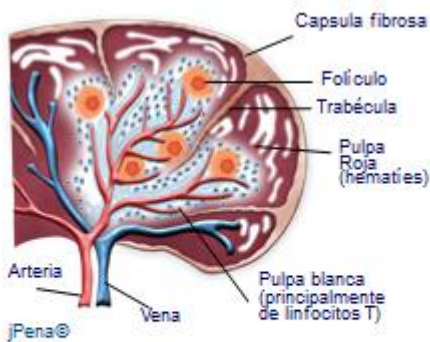


Ganglio. Representación de un ganglio linfático y la zona del mismo indicada. Se observan la corteza, paracorteza y médula.

El Bazo

Se trata de un órgano situado en el hipocondrio izquierdo, detrás del estómago y cerca del diafragma. En el bazo se distingue la pulpa roja que es un reservorio de hematíes y la pulpa blanca que contiene el tejido linfóide, el cual se dispone alrededor de una arteriola central, presentando áreas más ricas en linfocitos T y otras en linfocitos B. y alrededor de la arteriola central, mientras las áreas B se disponen exteriores a la misma. También son frecuentes las células reticulares dendríticas y macrófagos en el centro germinal, así como macrófagos especializados en la zona marginal (área que rodea a los folículos linfoides) que junto a las células foliculares dendríticas de los folículos primarios (folículos no estimulados sin centro claro germinal) se ocupan de la presentación del antígeno al linfocito B (Figura: Bazo).

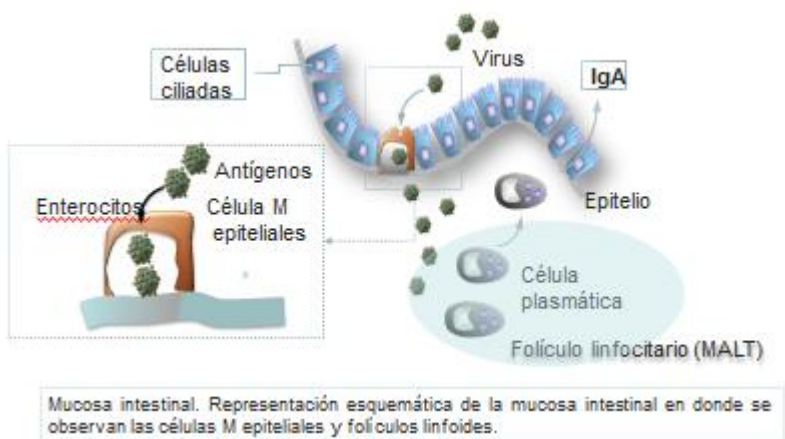
Ganglios linfáticos



Sección ganglio. Representación esquemática de una sección del bazo, donde se observa la cápsula, pulpa roja y pulpa blanca, atravesada por una arteriola.

Los ganglios linfáticos conforman, junto a los vasos linfáticos, una compleja red corporal cuya función es filtrar los antígenos procedentes del espacio extracelular y la linfa durante su circulación desde la periferia hasta el conducto torácico. Los ganglios linfáticos, en el humano, son redondeados y presentan un hilio donde los vasos sanguíneos entran y salen. Básicamente, se distingue un área B denominada córtex, un área T denominada paracórtex. La paracorteza, contiene linfocitos T y abundantes células presentadoras de antígeno (células dendríticas), quienes presentan abundantes antígenos MHC clase II en superficie. La zona medular

presenta algunos cordones linfoides separados por espacios vasculares (senos medulares) que contienen la mayor parte de las células plasmáticas y los macrófagos sinusales de los ganglios linfáticos.



Tejido linfoide asociado a mucosas (MALT)

En áreas mucosas gastrointestinales, respiratorias y urogenitales se observan acúmulos dispersos de tejido linfoide no encapsulado que es el **tejido linfoide asociado a mucosas (MALT)** (Figura: Tejido MALT). En el intestino, se observan estos elementos linfocitos difusos en la submucosa formando folículos linfocitos con centro germinal en áreas denominadas **placas de Peyer**.

Los antígenos pueden atravesar los epitelios de las mucosas transportados por las células dendríticas y a través de las **células M**. En sentido contrario, se transporta la IgA secretora producida por las células plasmáticas muy abundantes en los tejidos MALT (Figura: Mucosa Intestinal). En humanos, además se encuentra abundante tejido linfoide con centros germinales en las amígdalas faríngeas y también en paredes bronquiales y a lo largo del tracto urogenital.

<https://www.inmunosalud.net/index.php/defensas/inmune-capiulos/69-02-organizacion-del-sistema-inmune>

La inmunidad innata es la primera línea de defensa del cuerpo contra los patógenos y se activa rápidamente tras la detección de señales de peligro. Es un sistema de defensa no específico que está presente desde el nacimiento y no requiere de una exposición previa al patógeno para activarse. A diferencia de la inmunidad adaptativa, que se desarrolla con el tiempo y tiene una memoria específica para los antígenos, la inmunidad innata proporciona una respuesta inmediata pero generalizada.

Componentes de la inmunidad innata

La inmunidad innata está formada por varias barreras y componentes celulares y humorales que actúan conjuntamente para prevenir la invasión de patógenos y eliminar los que logran entrar en el organismo. Entre los principales componentes de la inmunidad innata se incluyen:

1. **Barreras físicas y químicas:** La piel y las mucosas actúan como barreras físicas que impiden la entrada de patógenos. Además, las secreciones como el sudor, las lágrimas y el moco contienen sustancias antimicrobianas como las enzimas lisozimas y las defensinas que destruyen los patógenos.
2. **Células fagocíticas:** Los neutrófilos y los macrófagos son células fagocíticas clave que engullen y destruyen los patógenos. Los neutrófilos son los primeros en llegar al sitio de la infección y tienen una vida corta, mientras que los macrófagos son más duraderos y actúan tanto en los tejidos como en la circulación sanguínea.
3. **Células asesinas naturales (NK):** Las células NK son linfocitos que tienen la capacidad de destruir células infectadas por virus y células tumorales sin necesidad de una sensibilización previa. Reconocen y eliminan las células anormales mediante la inducción de apoptosis.
4. **Proteínas del complemento:** El sistema del complemento está compuesto por un grupo de proteínas que se activan en cascada y ayudan a marcar los patógenos para su destrucción, promover la inflamación y formar complejos de ataque a la membrana que destruyen las células patógenas.
5. **Citocinas y quimiocinas:** Las citocinas son moléculas de señalización que regulan la respuesta inmune y la inflamación. Las quimiocinas son un tipo de citocina que atrae a las células inmunitarias al sitio de la infección.
6. **Receptores de reconocimiento de patrones (PRR):** Los PRR son receptores presentes en las células inmunes innatas que reconocen patrones moleculares asociados a patógenos (PAMP) y patrones asociados a daño (DAMP). Entre los PRR más conocidos se encuentran los receptores tipo Toll (TLR), los receptores de tipo NOD (NLR) y los receptores de tipo RIG-I (RLR).

Mecanismos de acción

La inmunidad innata se activa rápidamente cuando los PRR detectan PAMPs o DAMPs. Esta detección inicia una serie de eventos celulares y moleculares que incluyen la fagocitosis, la liberación de citocinas proinflamatorias y la activación del sistema del complemento. Estos mecanismos trabajan conjuntamente para eliminar los patógenos y prevenir su propagación.

- **Fagocitosis:** Los neutrófilos y macrófagos reconocen y engullen los patógenos, formándose un fagosoma que luego se fusiona con los lisosomas para degradar el patógeno.
- **Liberación de citocinas:** Las células inmunes innatas liberan citocinas proinflamatorias como el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), la interleucina-1 (IL-1) y la interleucina-6 (IL-6), que median la inflamación y reclutan más células inmunes al sitio de la infección.
- **Activación del complemento:** Las proteínas del complemento se activan en cascada y promueven la opsonización, que marca los patógenos para su fagocitosis, y la formación del complejo de ataque a la membrana, que perfora las membranas de las células patógenas.

Interacción con la inmunidad adaptativa

Aunque la inmunidad innata no tiene memoria específica, desempeña un papel crucial en la activación y modulación de la inmunidad adaptativa. Las células dendríticas, que actúan como células presentadoras de antígenos (APC), capturan y procesan los antígenos de los patógenos y los presentan a los linfocitos T, iniciando así una respuesta inmune adaptativa. Las citocinas liberadas por las células innatas también influyen en la diferenciación y activación de los linfocitos T y B.

Mecanismos de la respuesta inmunitaria El sistema inmunológico del ser humano se compone de mecanismos de defensa que pueden dividirse en dos grandes categorías: la inmunidad innata y la inmunidad adaptativa. Estas funcionan en conjunto para proteger al organismo frente a agentes infecciosos y mantener la homeostasis.

Inmunidad innata

La inmunidad innata es la primera línea de defensa del organismo contra infecciones y es considerada inespecífica, ya que actúa de forma general contra una amplia variedad de patógenos. Sus principales componentes son:

1. Barreras físicas y químicas:

- **Físicas:** La piel actúa como una barrera física infranqueable para la mayoría de los microorganismos. Las mucosas, recubiertas de moco, atrapan y expulsan patógenos mediante mecanismos como la tos o el estornudo.
- **Químicas:** Las secreciones corporales, como las lágrimas, el sudor y la saliva, contienen enzimas como la lisozima, que destruyen las paredes celulares de las bacterias. El pH ácido del estómago también representa una defensa importante contra muchos microorganismos.

2. Respuesta inflamatoria: La inflamación es una respuesta fundamental de la inmunidad innata que se desencadena tras una lesión o infección. Las señales químicas, como las citocinas y las quimiocinas, son liberadas en el sitio de la lesión, lo que provoca un aumento en el flujo sanguíneo y la permeabilidad capilar. Esto facilita la llegada de células inmunitarias, como neutrófilos y macrófagos, al área afectada para contener y eliminar al patógeno.

3. Células y moléculas de la inmunidad innata:

- **Células:** Los macrófagos y neutrófilos fagocitan microorganismos y restos celulares. Las células asesinas naturales (NK) eliminan células infectadas por virus y células tumorales.
- **Moléculas:** El sistema del complemento, compuesto por proteínas plasmáticas, juega un papel crucial al marcar patógenos para su destrucción (opsonización) y facilitar la formación del complejo de ataque a la membrana, que destruye microorganismos.

Inmunidad adaptativa

La inmunidad adaptativa, a diferencia de la innata, es específica y tiene la capacidad de generar memoria inmunológica. Actúa de manera más lenta, pero brinda una defensa más duradera y especializada. Sus mecanismos principales incluyen:

1. Activación de linfocitos T: Los linfocitos T son activados por células presentadoras de antígenos (APCs), como las células dendríticas y los macrófagos, que presentan fragmentos del patógeno en moléculas del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC). Existen diferentes tipos de linfocitos T:

- **Linfocitos T citotóxicos:** Destruyen células infectadas por virus o transformadas en cancerosas.
- **Linfocitos T colaboradores (helper):** Coordinan la respuesta inmunitaria al activar otros linfocitos y células efectoras mediante la liberación de citocinas.

2. **Activación de linfocitos B y producción de anticuerpos:** Los linfocitos B son activados al unirse a antígenos específicos mediante sus receptores. Esta activación puede ser reforzada por los linfocitos T colaboradores. Una vez activados, los linfocitos B se diferencian en células plasmáticas que producen grandes cantidades de anticuerpos. Los anticuerpos desempeñan varios roles, como:
 - Neutralizar toxinas y patógenos.
 - Marcar (opsonizar) a los patógenos para su destrucción.
 - Activar el sistema del complemento para destruir microorganismos.
3. **Respuesta inmunitaria específica:** La respuesta adaptativa es altamente específica para el antígeno que activa a los linfocitos. Además, después de la infección inicial, algunos linfocitos T y B se convierten en células de memoria. Estas células permiten una respuesta más rápida y eficaz si el mismo patógeno intenta infectar de nuevo en el futuro.

CONCLUSIÓN

La inmunología es un pilar fundamental de la biología moderna y de la medicina, proporcionando respuestas a los grandes interrogantes sobre cómo el cuerpo humano se protege y reacciona frente

a los riesgos del entorno. Comprender la historia y evolución de este campo nos permite apreciar cómo los principios básicos han dado forma a descubrimientos transformadores. La importancia de este conocimiento se extiende desde la prevención de enfermedades, a través de vacunas, hasta el desarrollo de tratamientos personalizados en la oncología y otras ramas de la medicina.

El estudio de los componentes del sistema inmunológico y de los mecanismos de la respuesta inmunitaria revela una maquinaria biológica extraordinariamente sofisticada, capaz de adaptarse, aprender y evolucionar. Desde las barreras físicas iniciales hasta las respuestas específicas mediadas por anticuerpos, el sistema inmunitario representa un ejemplo de cooperación celular y organizativa de alta complejidad. A través de los avances en inmunología, continuamos desentrañando los misterios del cuerpo humano, abriendo nuevas fronteras terapéuticas y fortaleciendo nuestra capacidad para enfrentar los desafíos de la salud global.