

Materia Inmunología

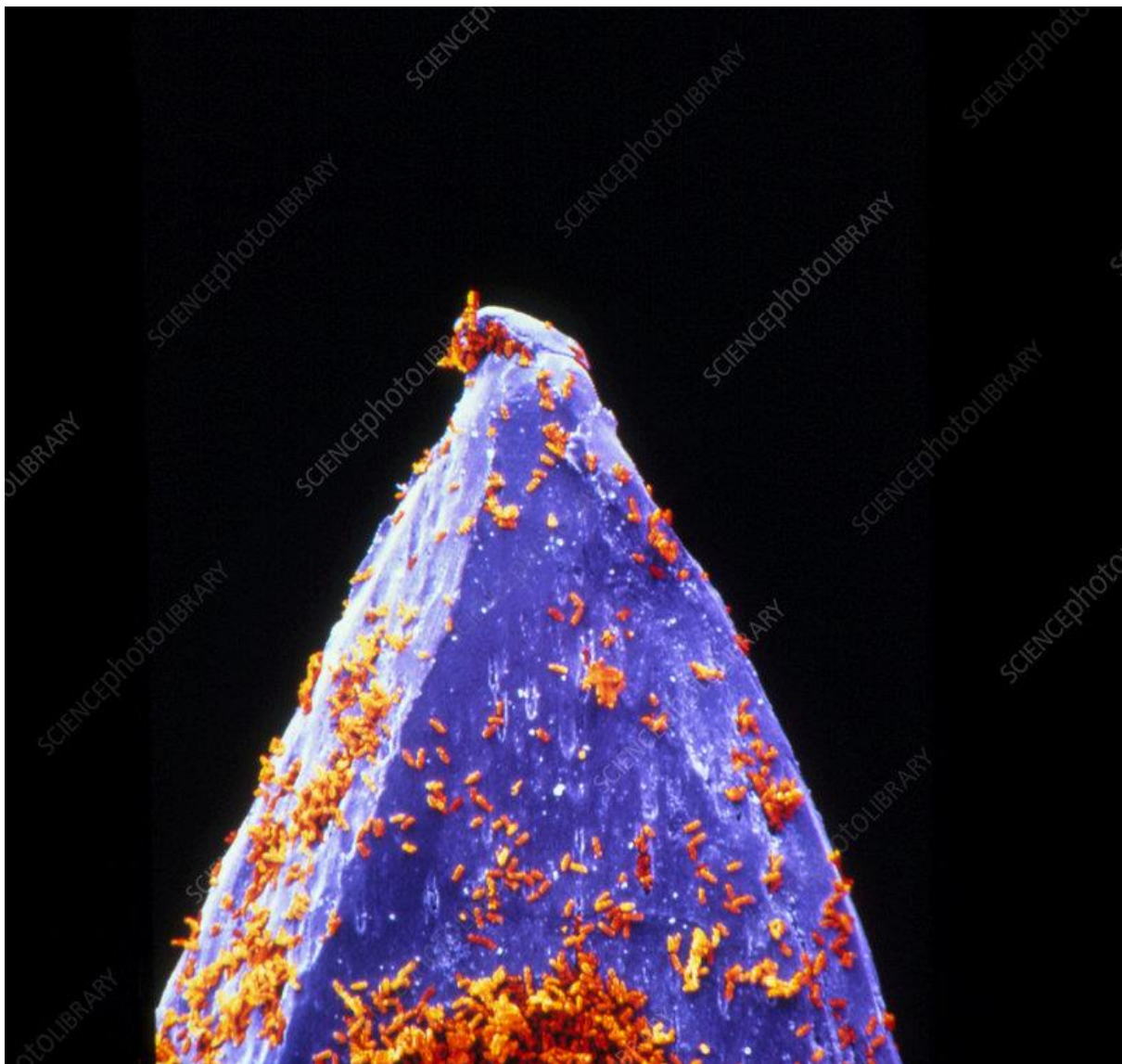
Seminario 1

Inmunidad innata: primera parte

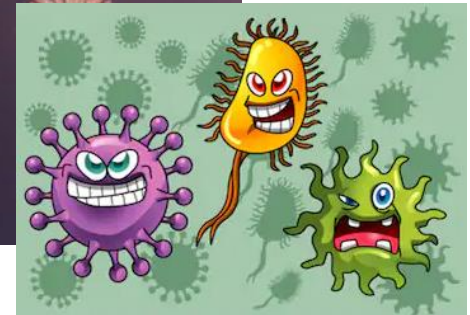
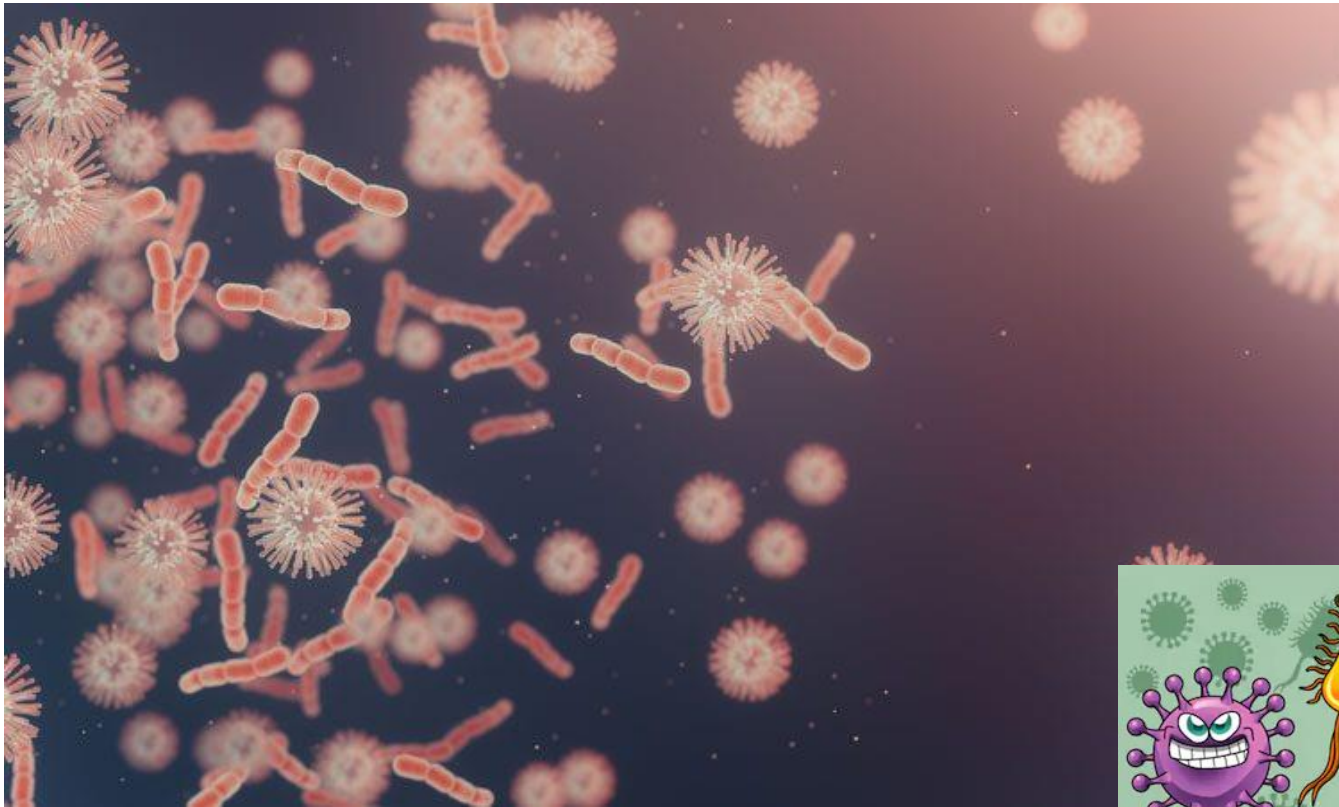
Año: 2024



*Universidad de Buenos Aires
Facultad de Medicina*



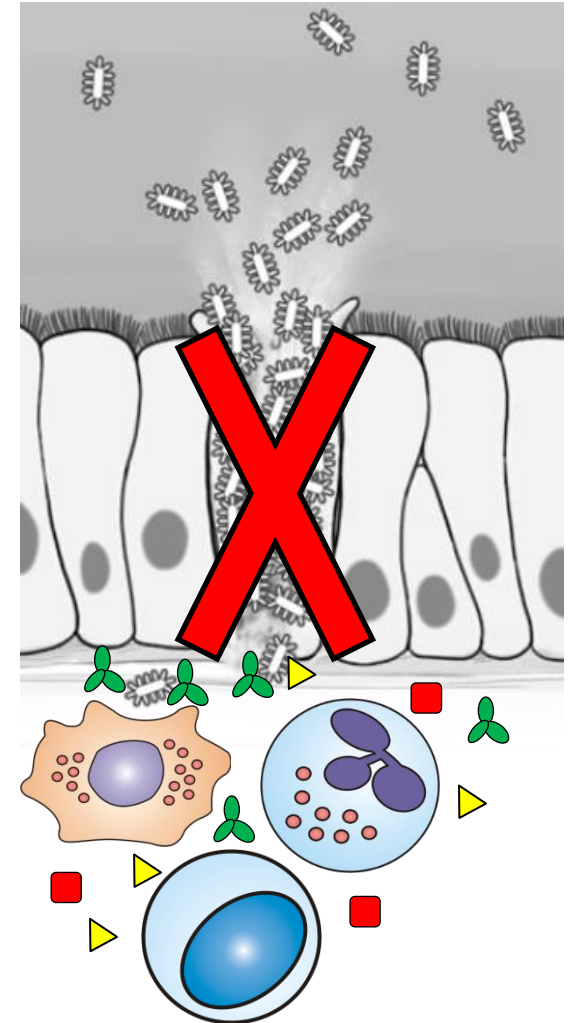
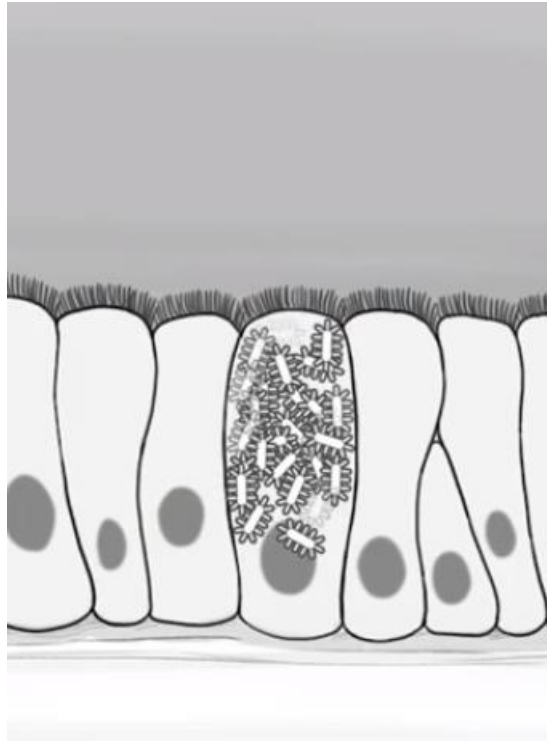
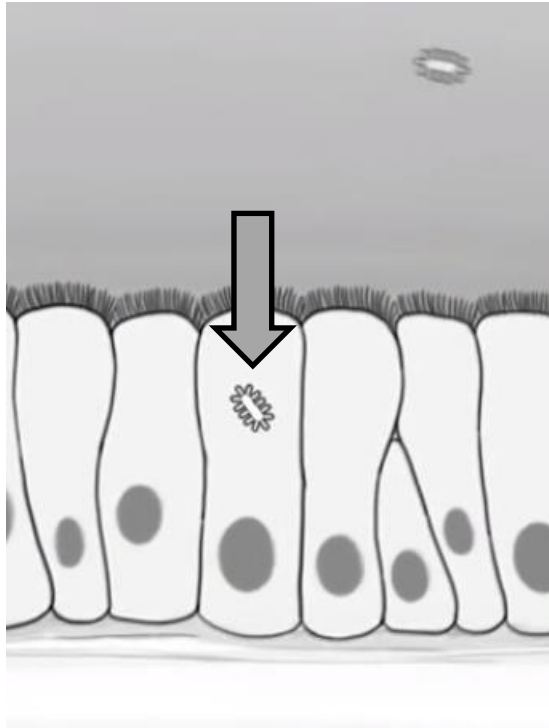
Vivimos en un ambiente densamente poblado por microorganismos



Una pequeña porción de esos microorganismos son **patógenos humanos**: ingresan y replican dentro del ser humano (**infección**) y alteran mecanismos fisiológicos generando daño y en consecuencia **enfermedades infecciosas**.



Los **microorganismos patógenos** tienen la capacidad de invadir y replicar dentro del hospedador para luego transmitirse a otro individuo.



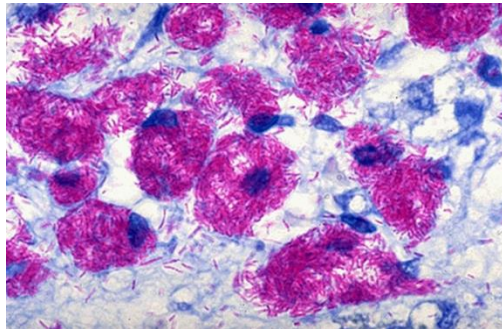
El **sistema inmune** es capaz de reconocer el ingreso de microorganismos, reclutar células y moléculas con actividad antimicrobiana al sitio de infección y eliminar al microorganismo.

Los **microorganismos (y parásitos!)** presentan una **gran diversidad** en su estructura, sus mecanismos de replicación y sus estrategias de transmisión.

Bacterias

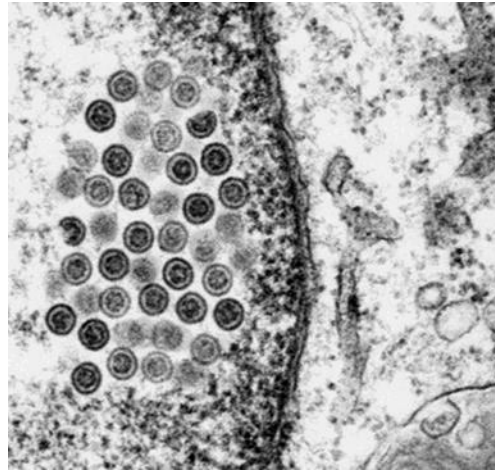


Pneumococo (replicación extracelular)



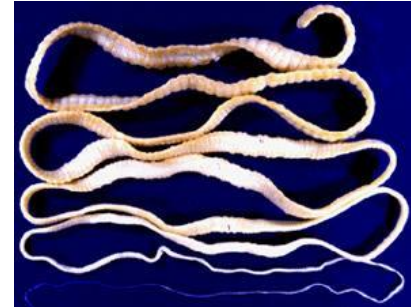
Micobacterias (replicación intracelular)

Virus

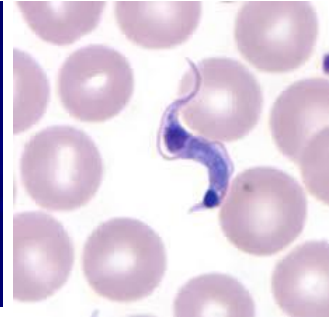


Herpes simple (dentro del núcleo)

Parásitos

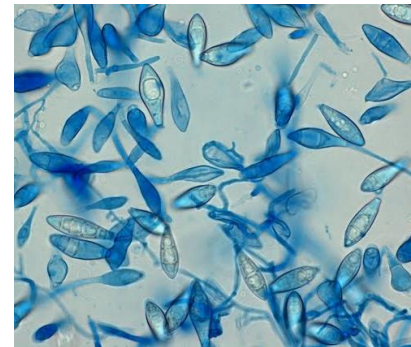


Taenia saginata

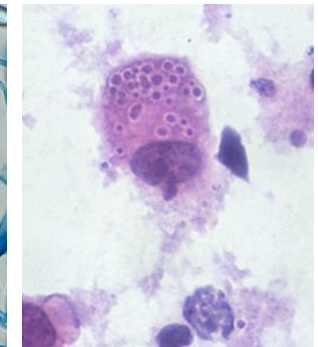


T. cruzi

Hongos



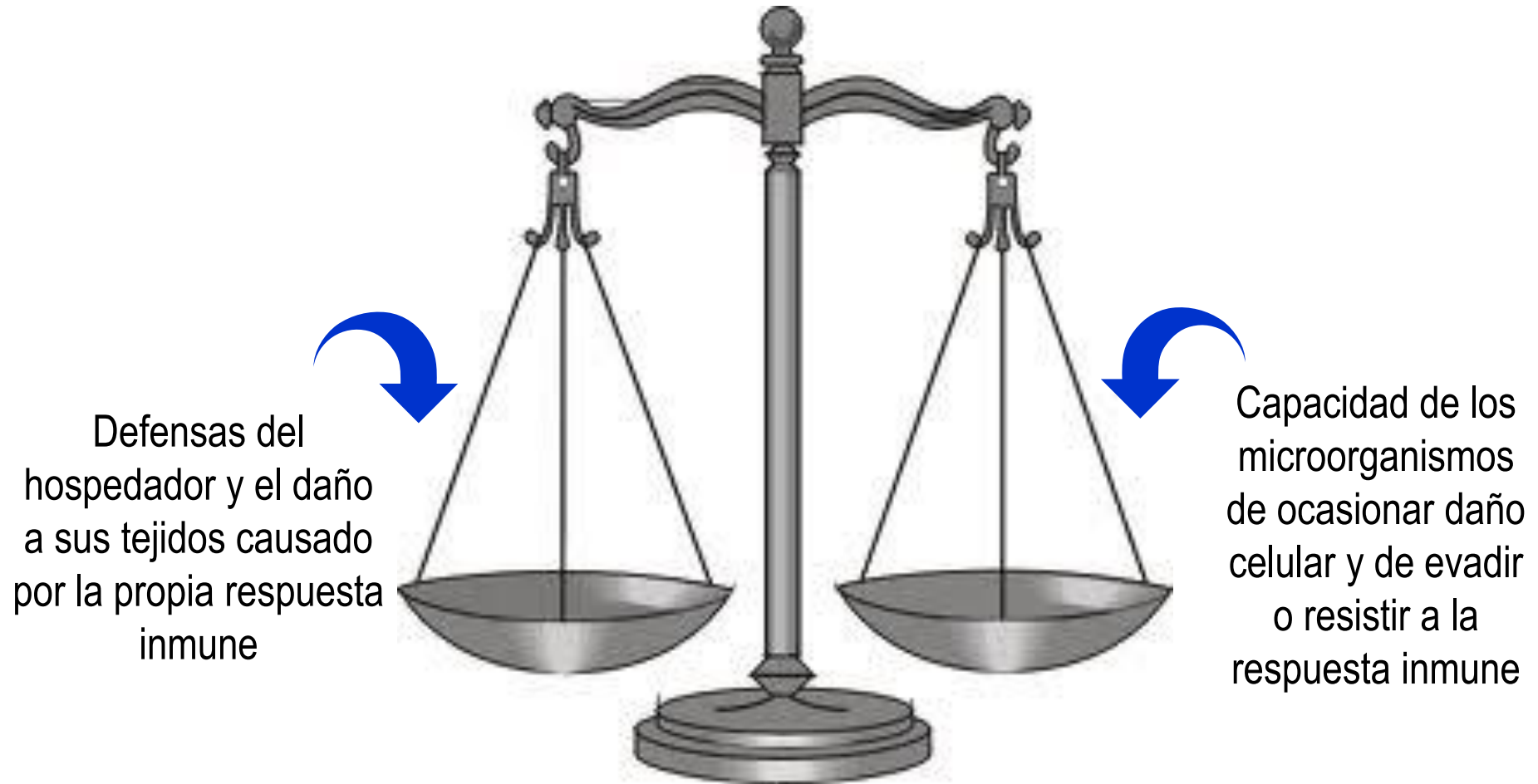
Microsporium canis



Histoplasma capsulatum

El sistema inmune emplea diferentes estrategias para hacer frente a esta diversidad

Consecuencias de una infección



```
graph TD; A[Sistema Inmune] --- B[ ]; B --- C[Innato]; B --- D[Adaptativo];
```

Sistema Inmune

Innato

Adaptativo

Células y factores solubles que intervienen en la respuesta inmune

Componentes celulares

- **Leucocitos**
- Células parenquimatosas
- Células endoteliales
- Células epiteliales

Componentes humorales

- Sistema complemento
- Proteínas de fase aguda
- Citoquinas
- Quimiocinas
- Mediadores lipídicos

Leucocitos



Neutrófilo



Basófilo



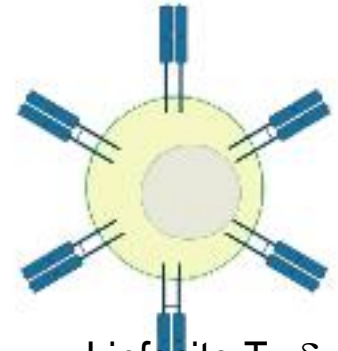
Eosinófilo



Mastocito



Linfocito inmune
innato



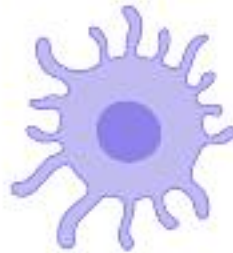
Linfocito T $\gamma\delta$



Monocito



Macrófago



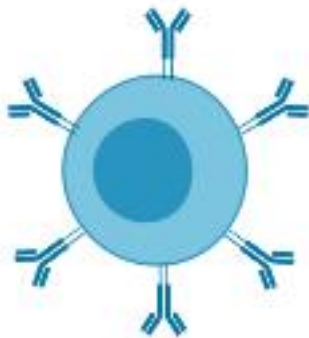
Célula dendrítica
mieloide



Célula dendrítica
plasmacitoide



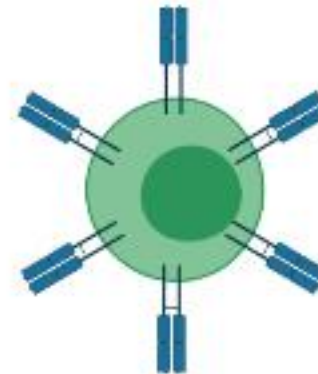
Célula NK



Linfocito B



Plasmocito



Linfocito T

Sistema Inmune innato

- ¿Qué dispara su activación?
- ¿Qué células participan y qué eventos ocurren como consecuencia de su activación?
- ¿Qué consecuencias tiene su activación?

Sistema Inmune innato

- ¿Qué dispara su activación?

- ✓ Microorganismos y parásitos multicelulares
- ✓ Daño tisular

- ¿Qué células participan?

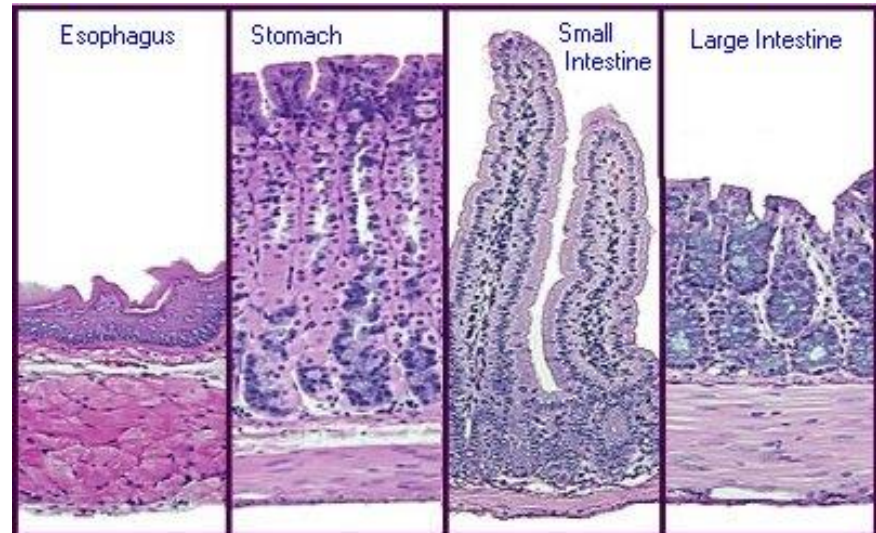
Involucra diversos tipos celulares y componentes humorales cuya relevancia en la contención de la infección y la eliminación del patógeno infectante varía dependiendo del tipo de agente invasor

- ¿Qué eventos ocurren como consecuencia de su activación?

- ✓ **Inflamación**

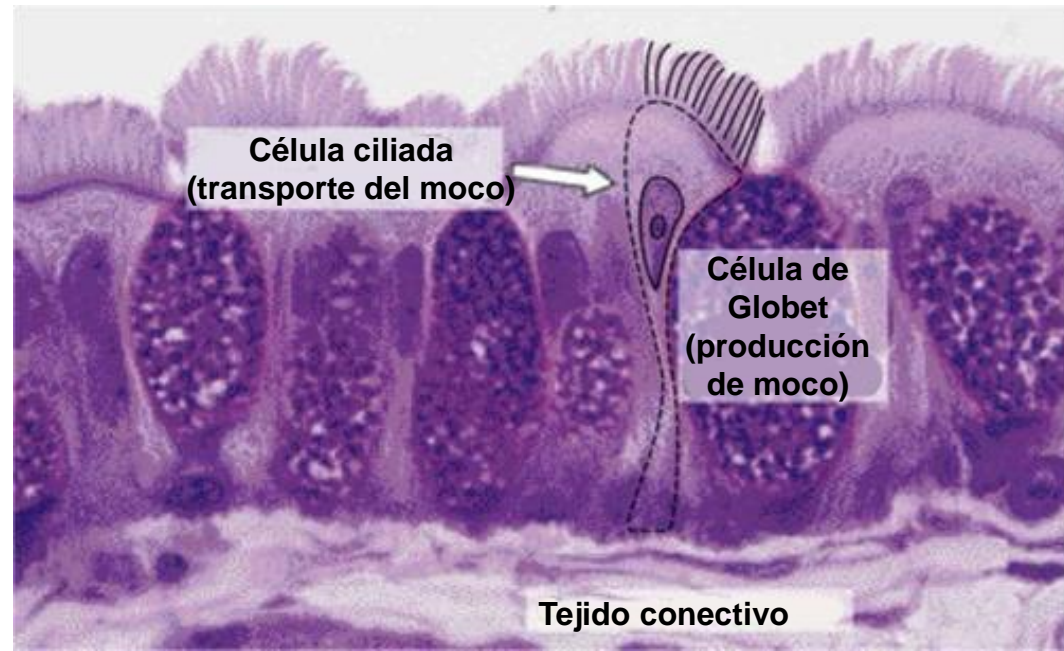
- ¿Qué consecuencias tiene su activación?

- ✓ Puede prevenir la infección; eliminarla; o contenerla hasta que se desarrolle una respuesta adaptativa
- ✓ Es necesaria para la reparación y cicatrización del tejido
- ✓ Gatilla y modela la respuesta adaptativa

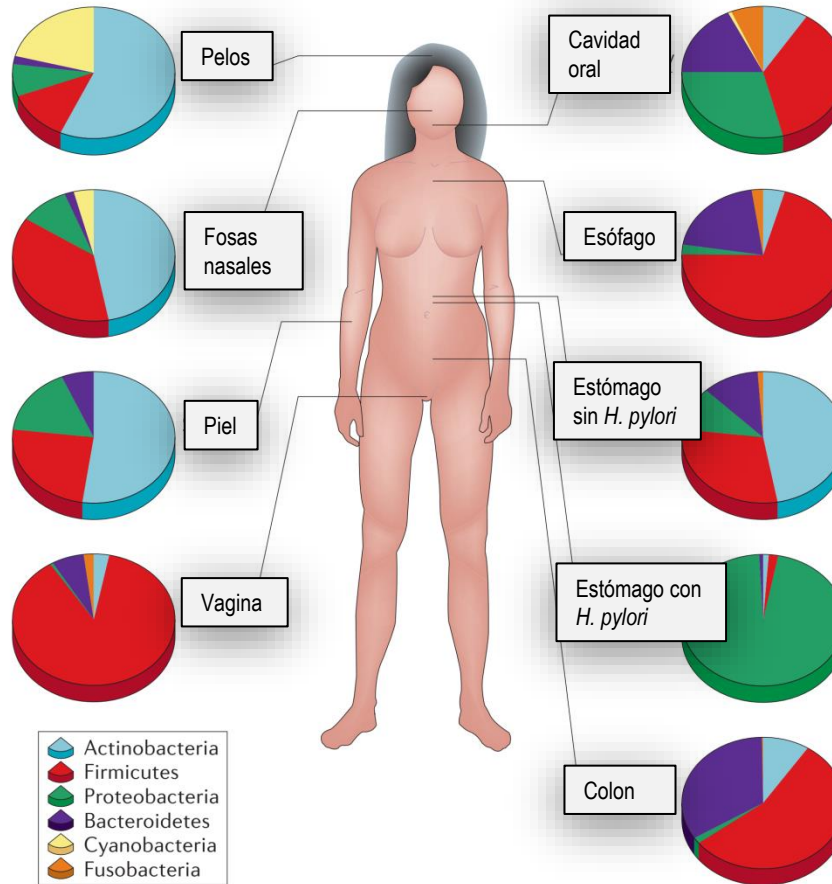


Distintos mecanismos inmunes que previenen el establecimiento de un foco infeccioso en mucosas

- **Secreciones mucosas (moco):** 10-700 μm de espesor dependiendo del tipo de epitelio. Dificultan el acceso de los patógenos al epitelio y bloquean moléculas empleadas por los patógenos para adherirse al epitelio
- **Factores químicos presentes en las secreciones mucosas:** péptidos antimicrobianos, lisozima, lactoferrina, etc.
- **Factores físicos:** descamación (10^{11} células/día sólo en intestino delgado), oscilaciones ciliares (tracto respiratorio), movimientos peristálticos (tracto GI). Contribuyen a la eliminación de organismos.
- **Flora normal**
- **IgA secretoria**



Flora normal



- compiten con patógenos por nutrientes;
- producen moléculas antimicrobianas y metabolitos que afectan sobrevida y virulencia de patógenos;
- promueven la producción de péptidos antimicrobianos por células epiteliales;
- refuerzan uniones epiteliales estrechas.

¿Qué sucede si los microorganismos logran superar estas barreras?

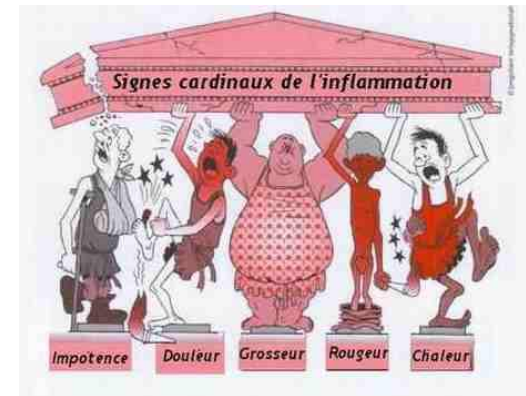
Se pone en marcha un proceso infeccioso y el hospedador responde a la presencia del patógeno

¿Cuáles son los signos que experimentará el individuo infectado?

Rubor, tumor, calor, dolor
Signos cardinales de la inflamación

¿Qué es lo que causa estos signos?

La respuesta innata desencadenada para contrarrestar esa infección



¿Qué es la inflamación?

Una respuesta estereotipada que involucra células y componentes humorales que se activan con el fin de restaurar la homeostasis cada vez que la misma se ve afectada

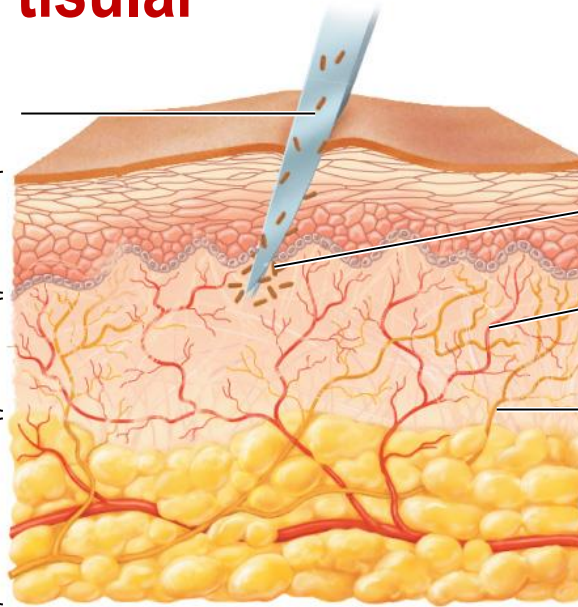
Infección y daño tisular

Microorganismos ingresando por herida

Epidermis

Dermis

Tejido subcutáneo



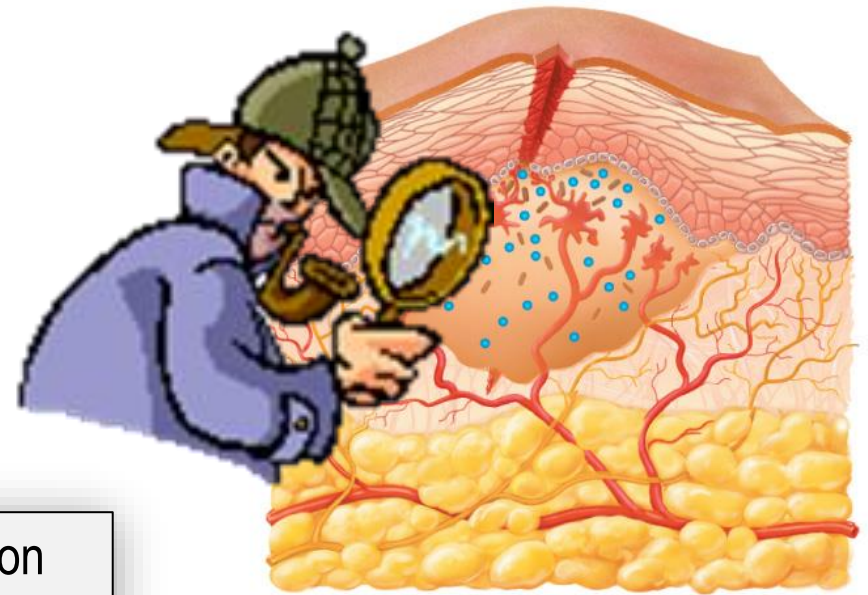
Microorganismos

Vasos sanguíneos

Nervios

Eventos que tienen lugar

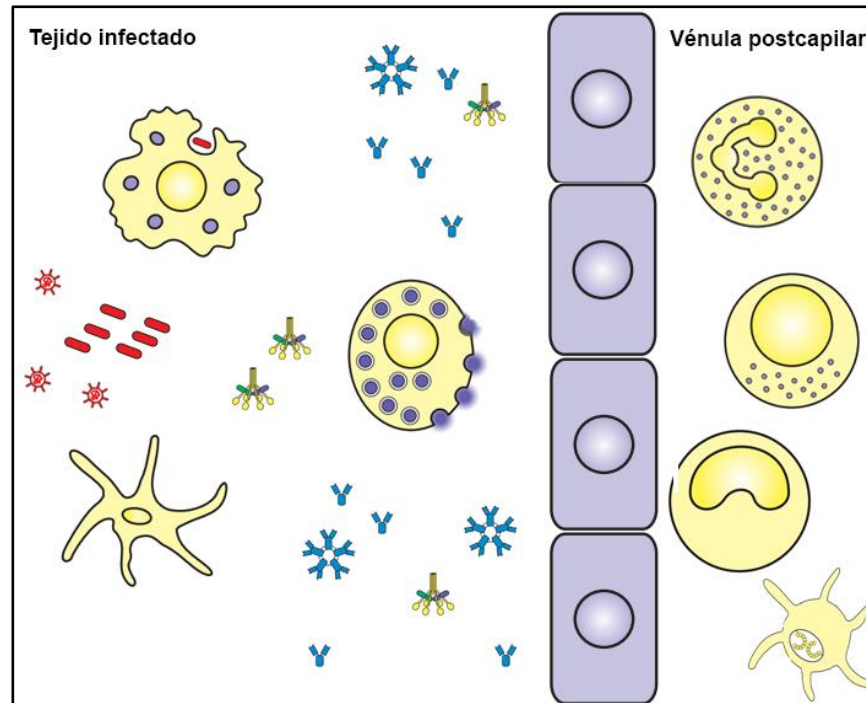
1. Vasodilatación e incremento en la permeabilidad de los vasos sanguíneos
2. Edema
3. Reclutamiento de células al foco infeccioso



¿Qué acontecimientos del foco infeccioso son responsables de estos efectos?

Aún en condiciones homeostáticas, en los tejidos hay diversas células que pueden reconocer la presencia de un microorganismo invasor o el daño celular, como macrófagos, células dendríticas mieloides, mastocitos y las propias células parenquimatosas.

A nivel intersticial, aún en ausencia de infección, hay niveles de anticuerpos IgG y de IgM (específicos para Ags a los que estuvo expuesto previamente el individuo y Acs naturales) así como de componentes del sistema complemento capaces de activar una respuesta inflamatoria.



Cuando los patógenos vulneran las barreras naturales pueden ser reconocidos por dichos componentes y activar una respuesta vigorosa que intentará eliminar al invasor o en su defecto contenerla.

¿Cómo advierten las células de la inmunidad innata la presencia de organismo invasor o el daño tisular?

A través de un conjunto de receptores conocidos como **Receptores de Reconocimiento de Patrones (RRP)**

¿Qué reconocen los RRP?

**PAMPs: pathogen associated
molecular patterns**

Agunos también reconocen

**DAMPs: damage associated
molecular patterns**

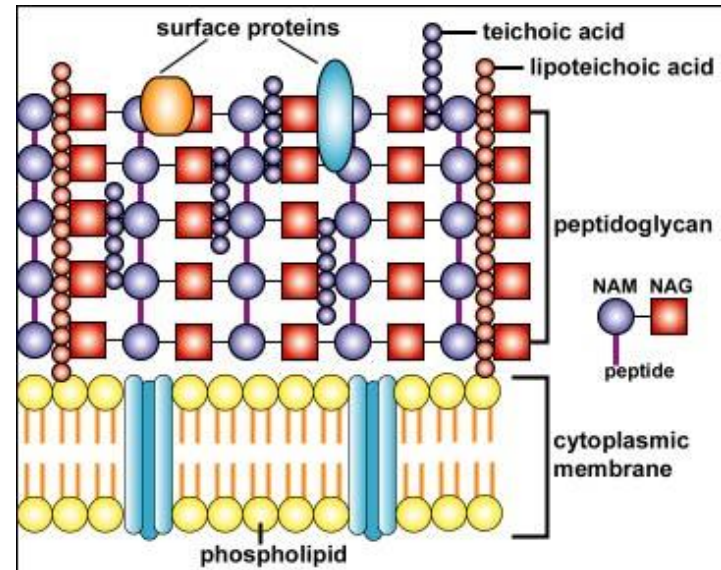
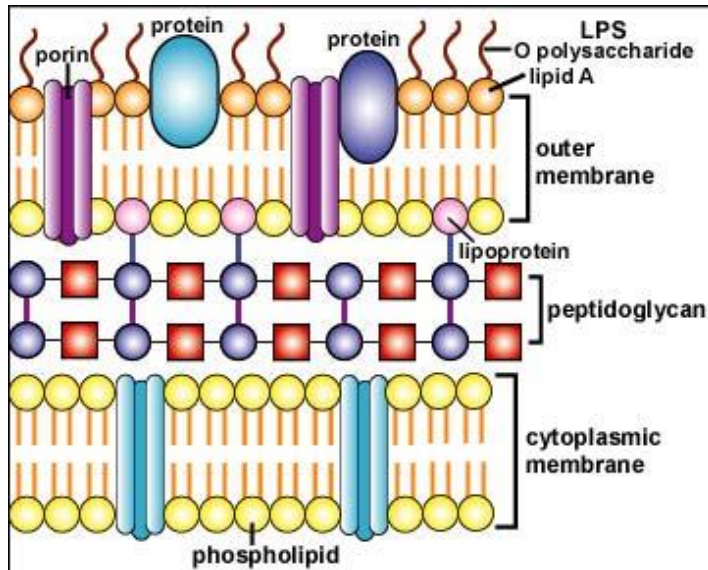
Características de los PAMPs

- son patrimonio de los microorganismos pero **no** de sus hospedadores
- son esenciales para la sobrevivencia o patogenicidad del microorganismo, por lo cual están conservados evolutivamente
- son estructuras invariantes compartidas por clases diversas de microorganismos

Algunos ejemplos de PAMPs

- LPS
- Peptidoglicano
- Ácido lipoteicoico
- Manosa de oligosacáridos microbianos
- ADN conteniendo motivos CpG no metilados
- ARN doble cadena
- Flagelina
- otros

Principales PAMPs bacterianos y virales



Características de los DAMPs

- Moléculas que usualmente se encuentran ocultas en el interior de la célula y son liberadas por mecanismos de muerte que ocasionan la ruptura celular como la necrosis
- Moléculas usualmente presentes en mitocondria, que son liberadas al citoplasma a consecuencia de la disrupción mitocondrial (ADNm)
- Moléculas generadas por la fragmentación de componentes de la matriz extracelular como consecuencia de daño tisular

Algunos ejemplos de DAMPs:

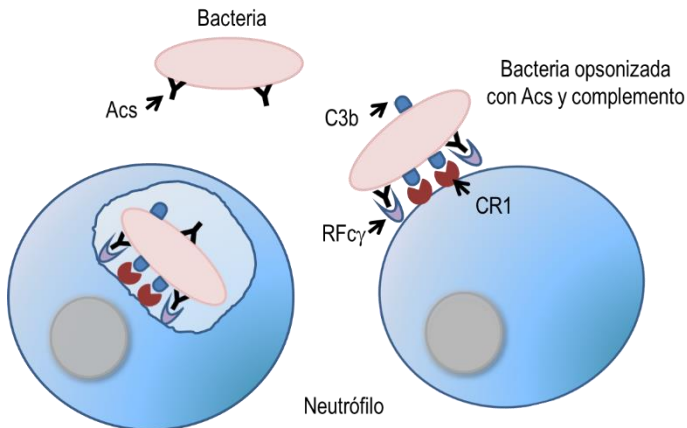
- **ATP**
- **cristales de urato monosódico formados a partir de ácido úrico**
- **HMGB1**

Otros receptores que emplean las células inmunes innatas para activarse en respuesta a una infección

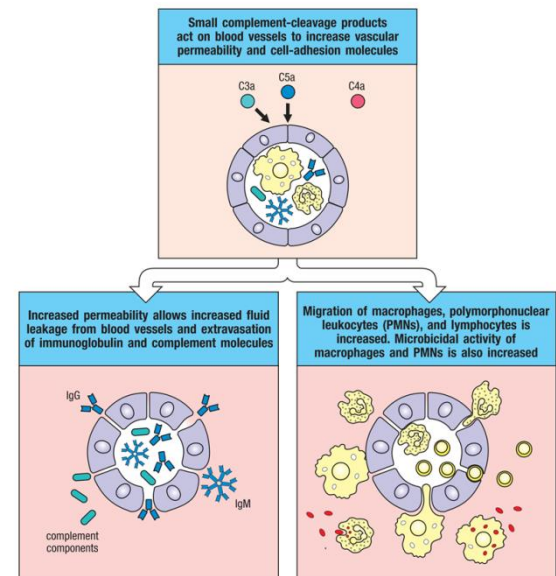
- Receptores para complemento
- Receptores para el fragmento Fc de la IgG

Receptores para componentes del Sistema Complemento

Receptores que reconocen componentes activados del Sistema Complemento que se unieron a la superficie de microorganismos: CR1(CD35); CR2 (CD21); CR3 (CD11b/CD18) y CR4 (CD11c/CD18)



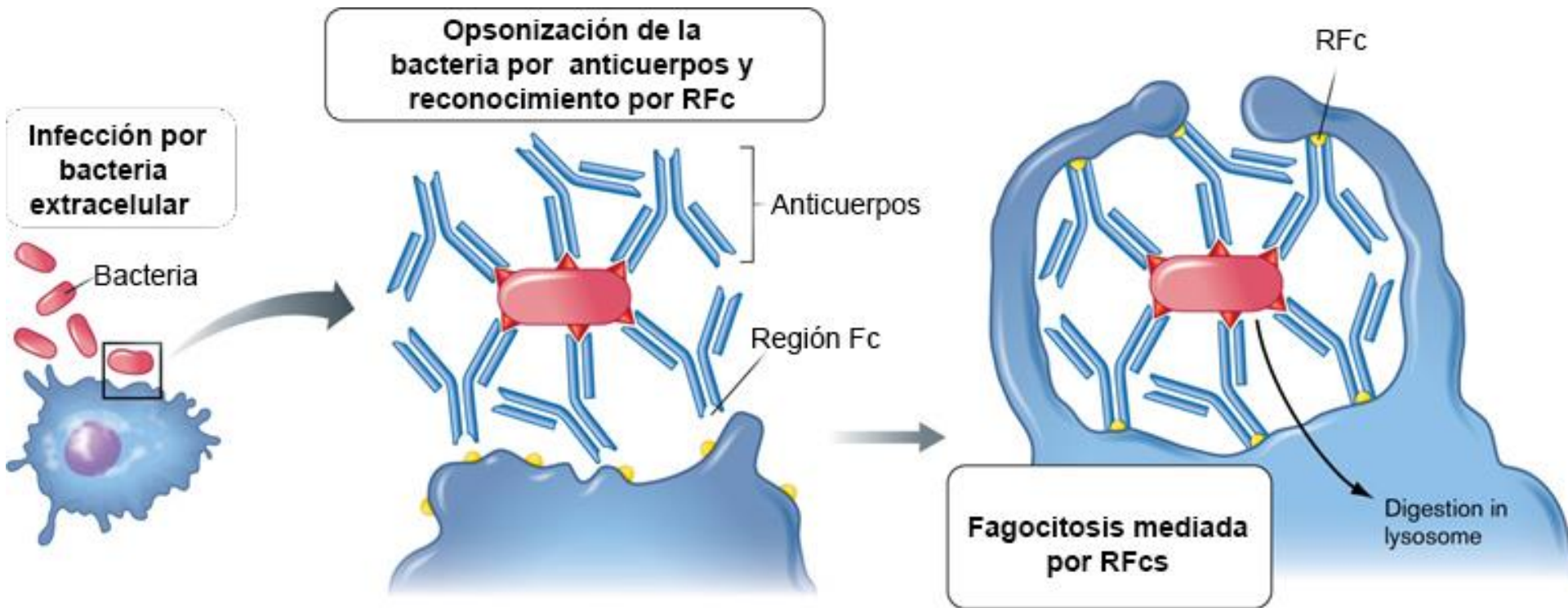
Receptores que reconocen componentes activados del Sistema Complemento solubles: RC3a y RC5a: Unen C3a y C5a, respectivamente



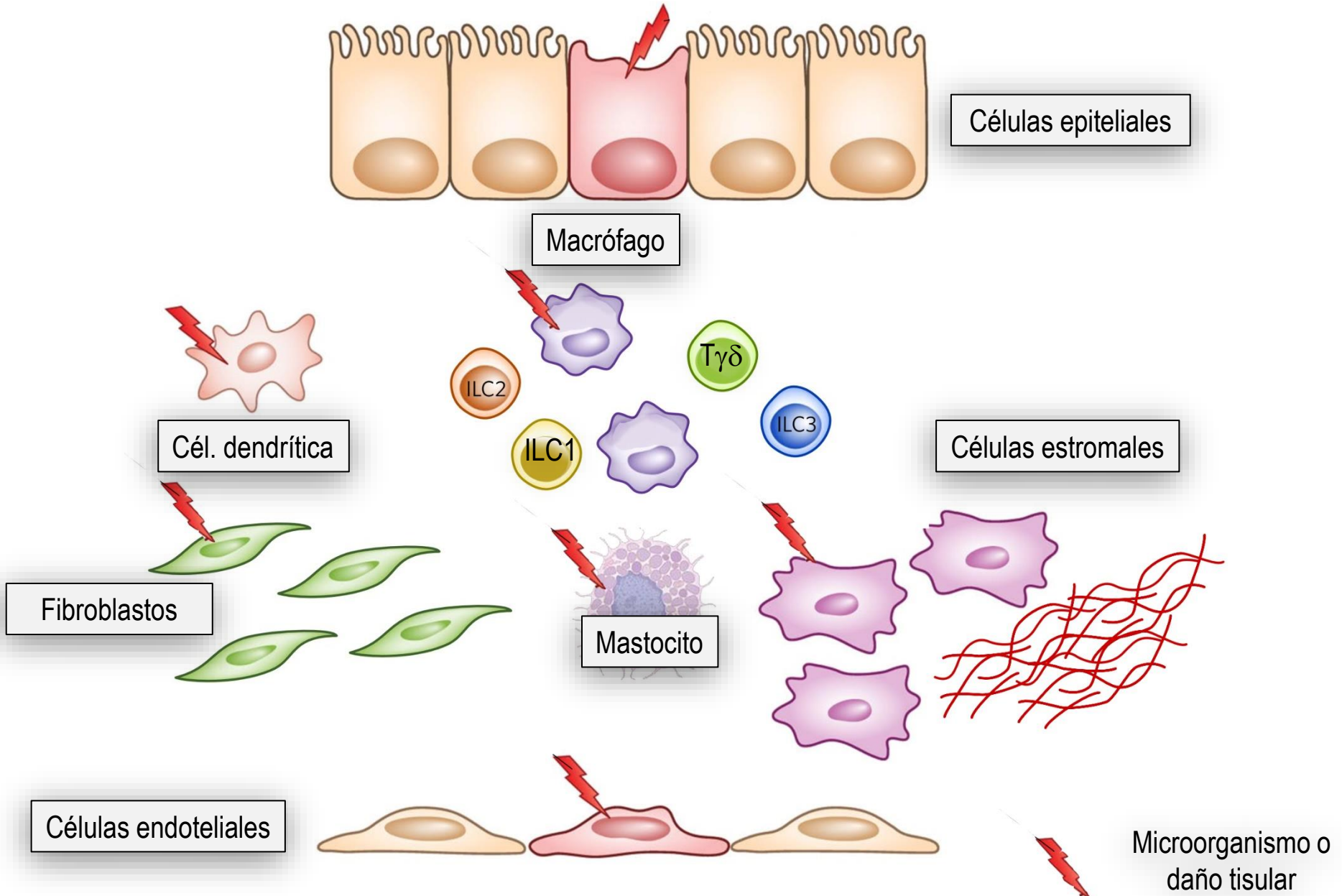
C3a y C5a pueden ser reconocidos por C3aR y C5aR en mastocitos (degranulación), células endoteliales (aumento de la adhesión), vasculares lisas (relajación) y leucocitos (migración)

Receptores para Fc de IgG (RFc γ)

- RFc γ I (CD64)
- RFc γ II (CD32)
- RFc γ III (CD16)



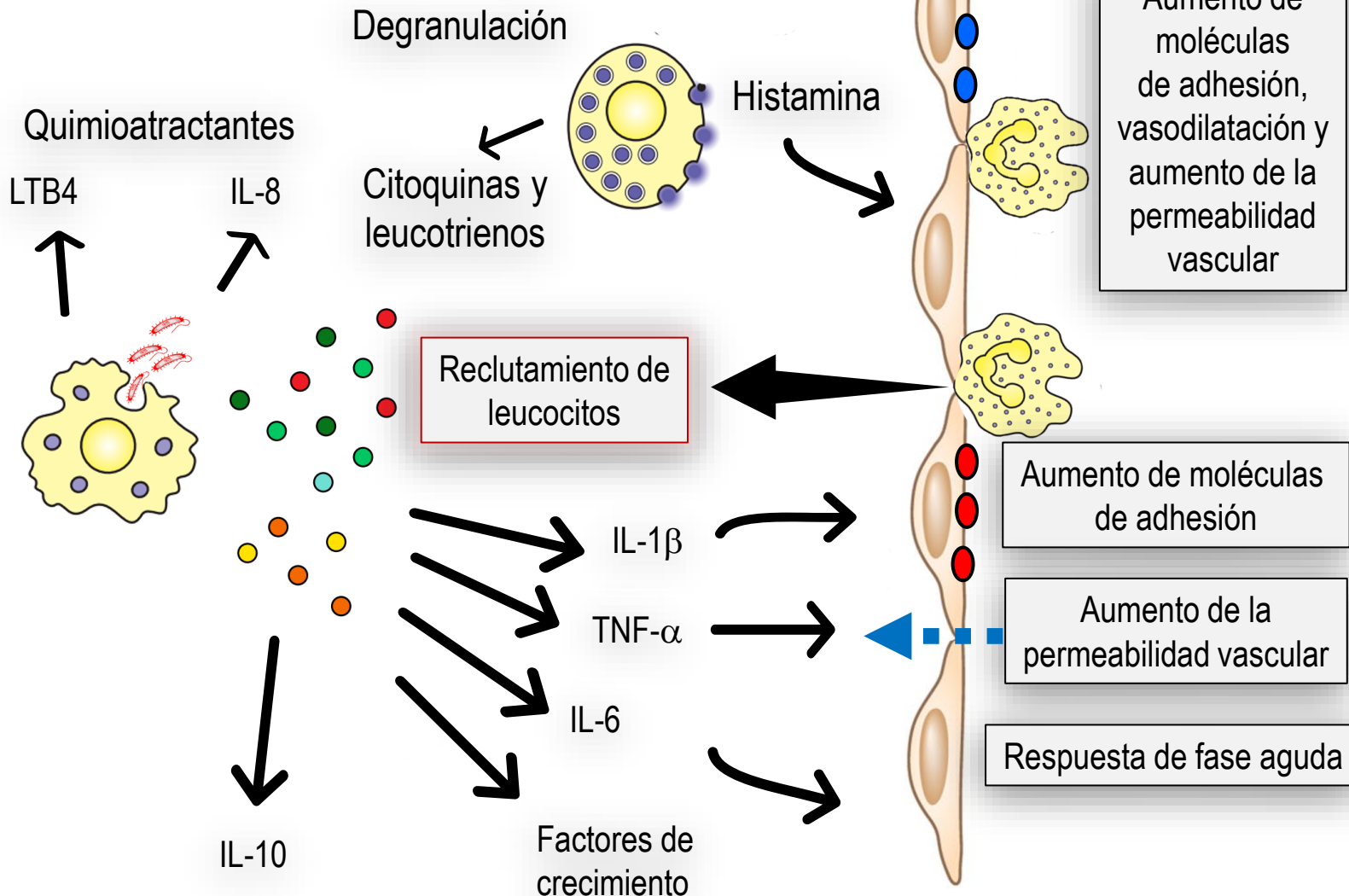
La presencia de un microorganismo o el daño tisular son advertidos por las células de la inmunidad innata a través de sus Rcs y eso tiene consecuencias a nivel local y sistémico



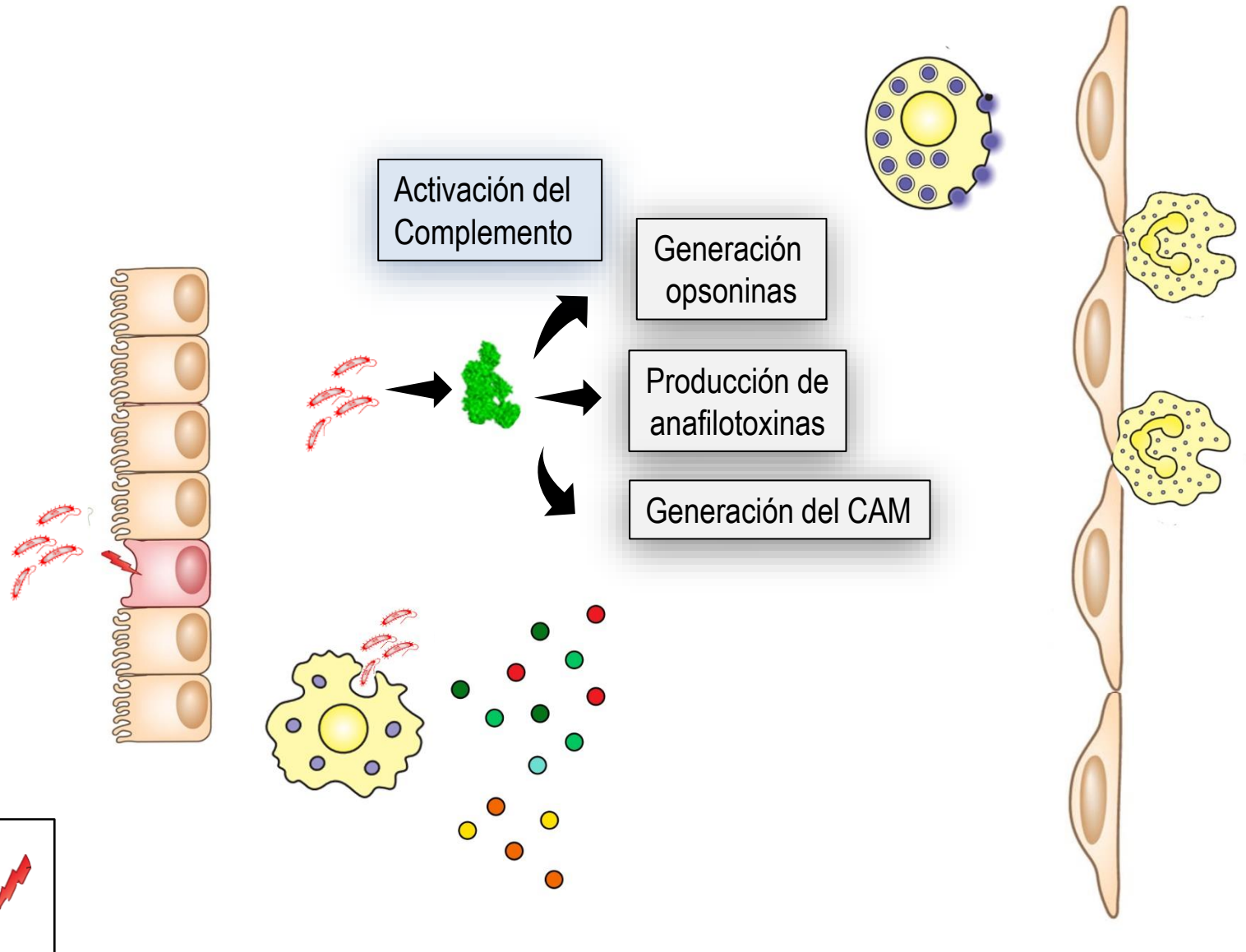
Activación de macrófagos y mastocitos: consecuencias

Tejido infectado

Circulación



Activación del sistema Complemento: consecuencias

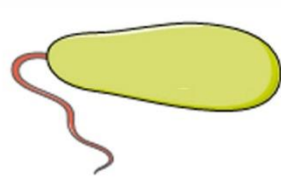


Vía Alternativa

Vía Lectinas

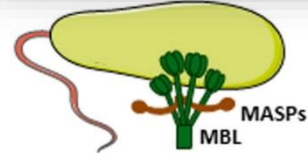
Vía Clásica

Bajo nivel de activación permanente

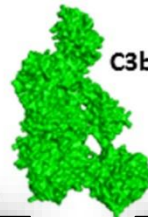


C3(H₂O)

FH
MCP
DAF
CR1

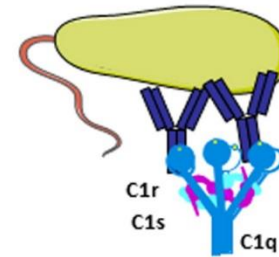


MASPs
MBL



C4b2b

MCP
DAF
CR1
C4BP



C1r
C1s
C1q

Convertasas de C3

Convertasas de C5

Loop de
amplificación

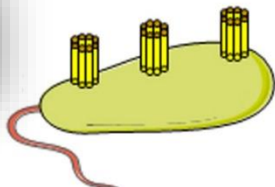
Opsonización y
fagocitosis

Aumento de P-selectina endotelial
(adhesión), reclutamiento y activación de
neutrófilos, monocitos, basófilos y
mastocitos, liberación de histamina por
mastocitos (vasodilatación) y aumento de
adhesión plaquetaria

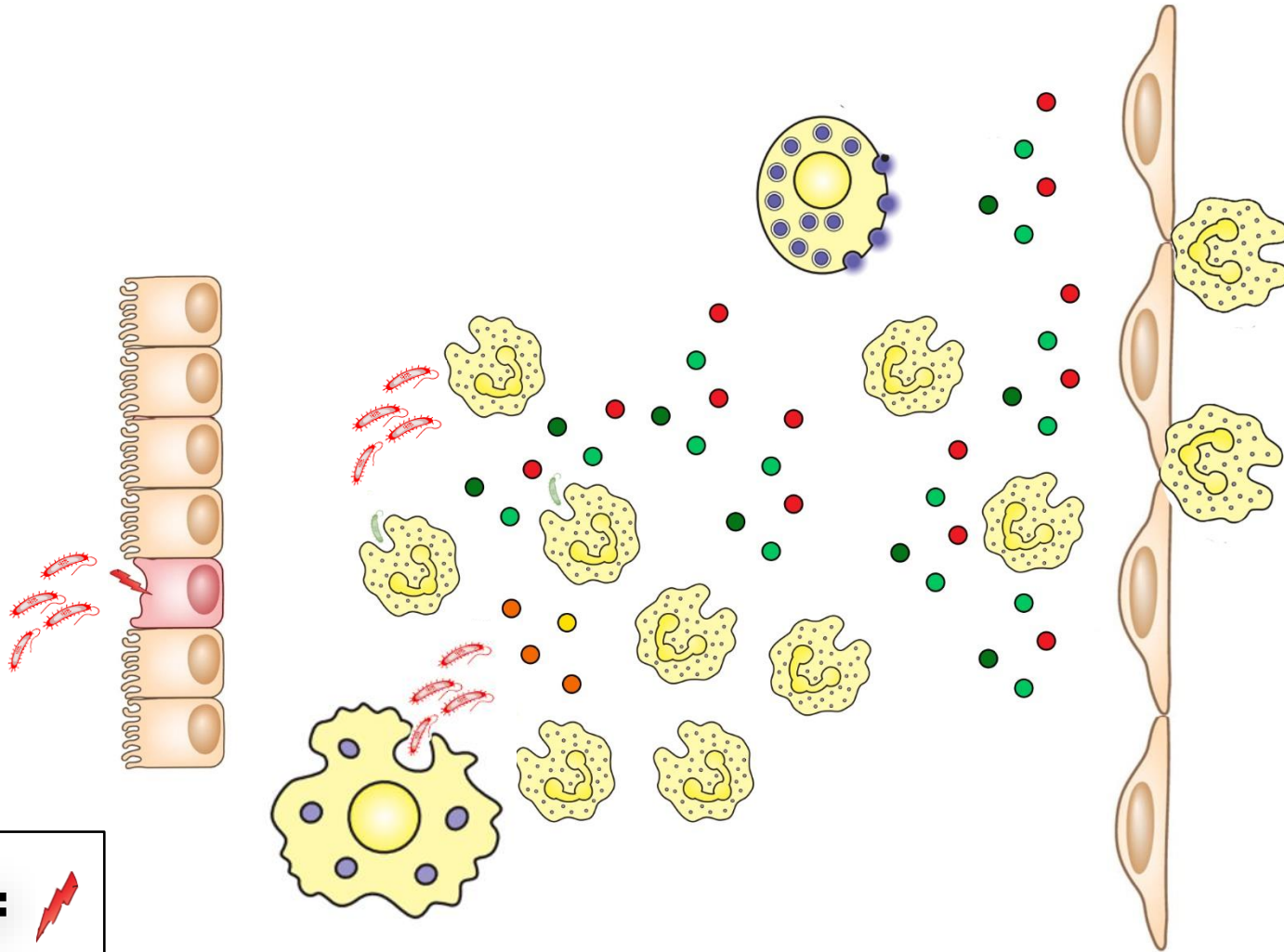
Lisis bacteriana
Por CAM

C5b-C9
CAM

C3a C5a



Las quimiocinas y quimioattractantes producidos por células del foco infeccioso y generados por la activación del sistema complemento inducen el reclutamiento temprano de neutrófilos



Macrófagos y neutrófilos fagocitan microorganismos y los degradan intracelularmente

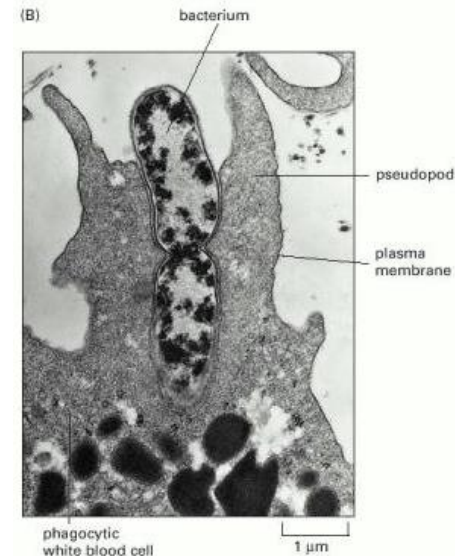
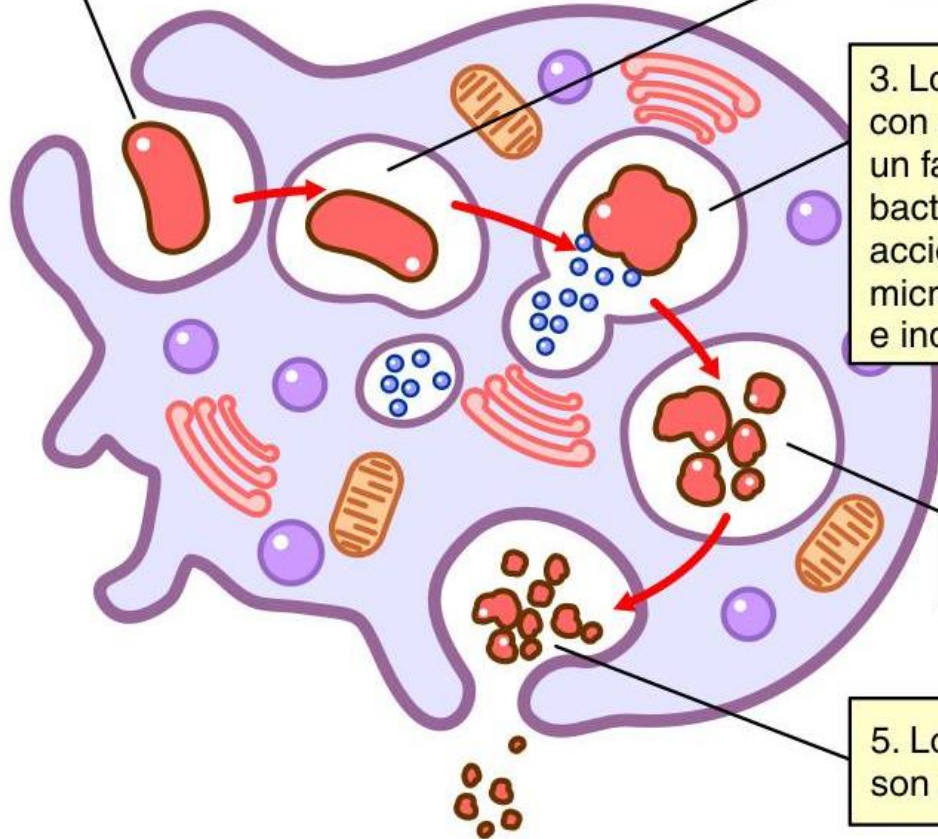
1. Componentes de la bacteria u opsoninas depositadas sobre la misma son reconocidos por receptores expresados por el neutrófilo, promoviendo la fagocitosis de la bacteria. La activación del neutrófilo induce la activación de la enzima NADPH oxidasa.

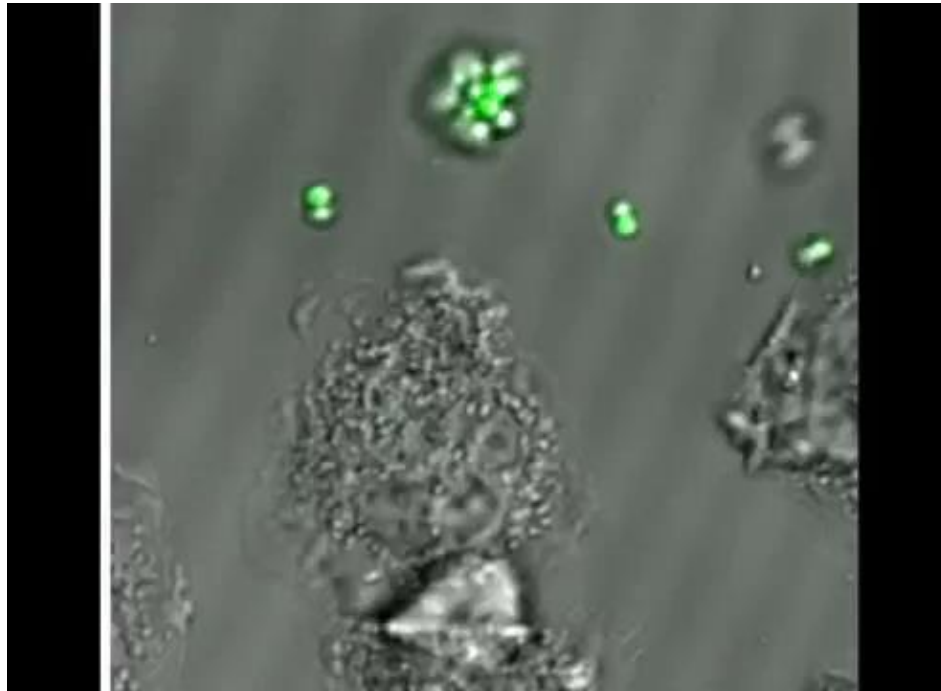
2. La bacteria es ingerida, formándose un fagosoma

3. Los lisosomas se fusionan con el fagosoma originando un fagolisosoma, donde la bacteria es sometida a la acción de mecanismos microbicidas dependientes e independientes del oxígeno.

4. Las enzimas digieren el material capturado

5. Los productos de digestión son liberados de la célula





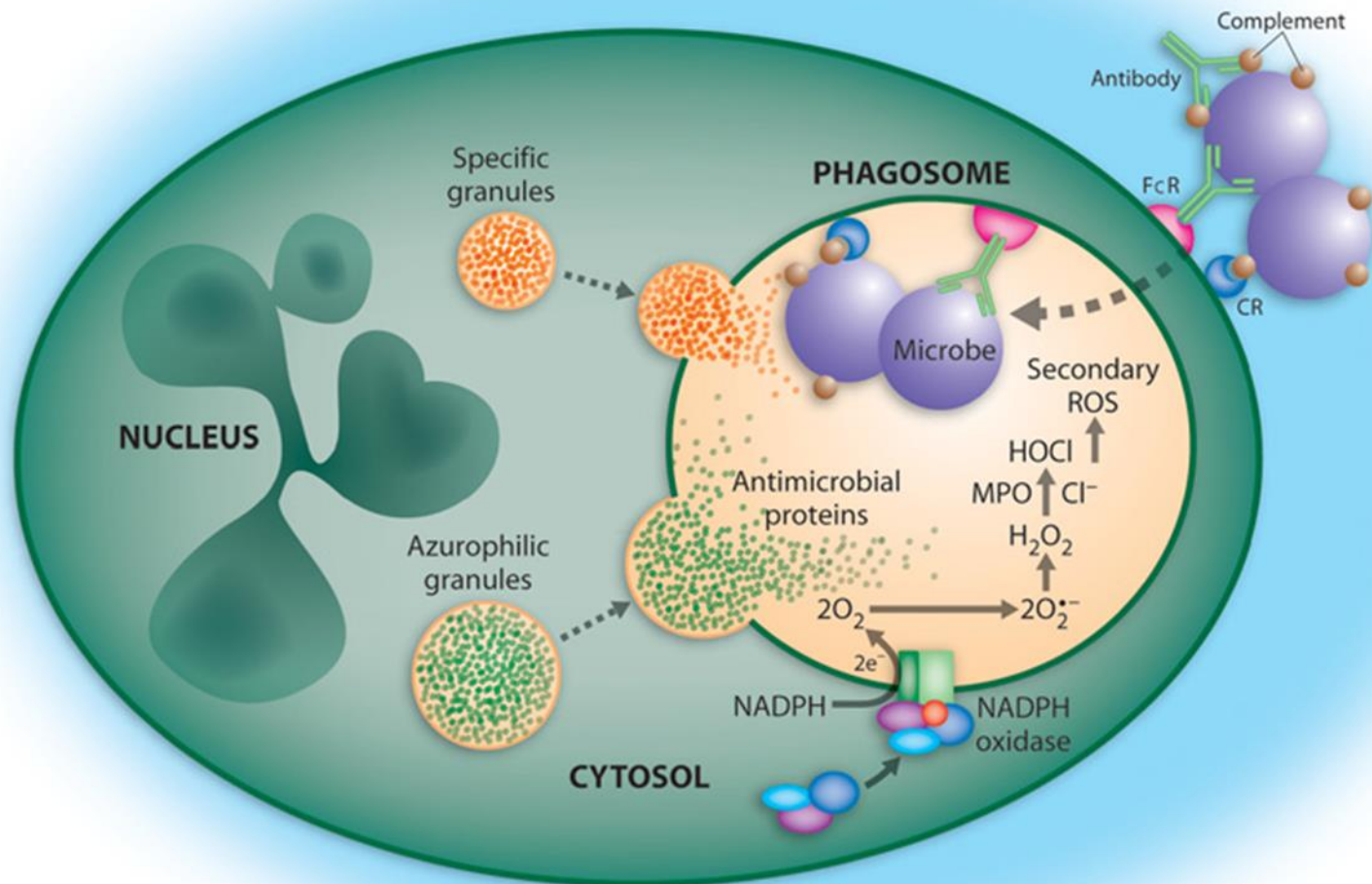
Mecanismos de destrucción de microorganismos fagocitados

- **Mecanismos microbicidas que no involucran al oxígeno (oxígeno-independientes):**

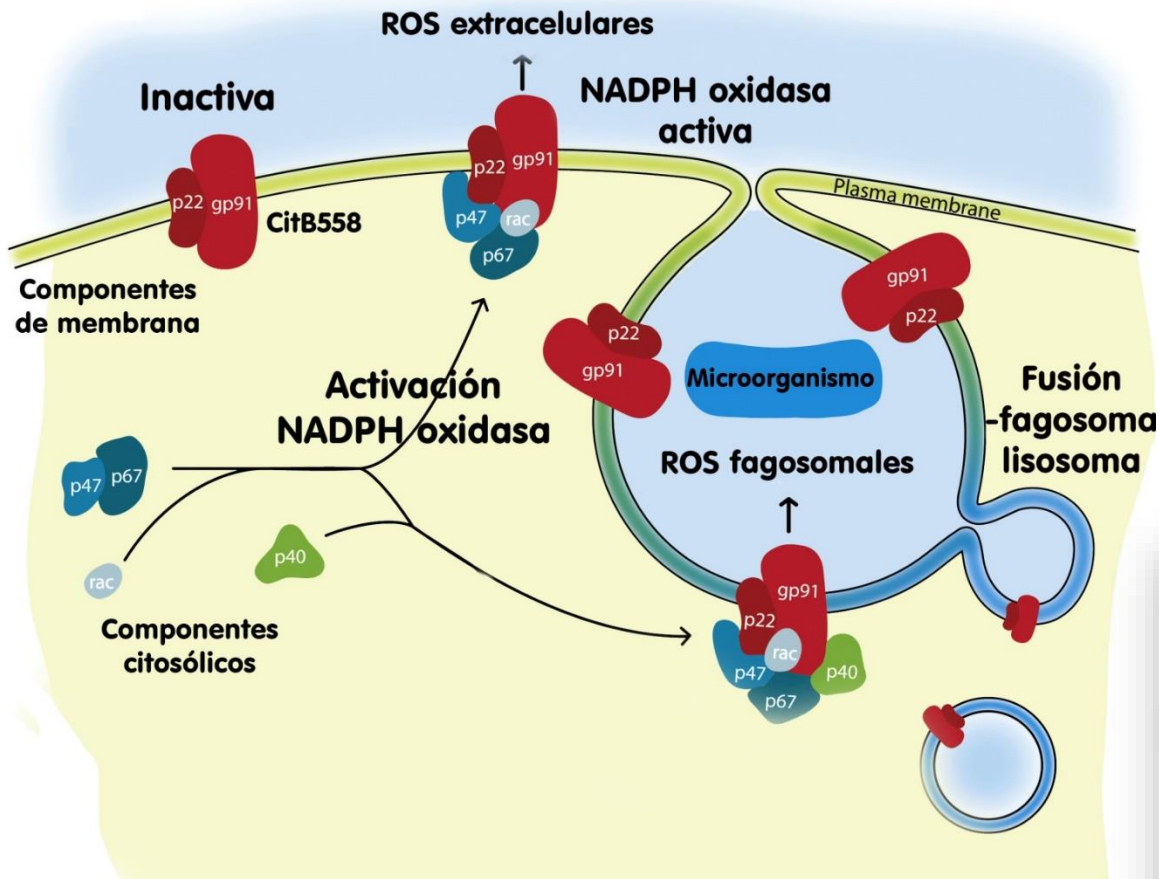
Mediados por enzimas como lisozima, serinoproteasas y péptidos antimicrobianos presentes en gránulos de los neutrófilo o proteasas lisosomales del macrófago

- **Mecanismos microbicidas que involucran la producción de intermediarios reactivos del oxígeno (oxígeno-dependientes)**

Mediados por IRO como O_2^- , H_2O_2 , HOCl o cloraminas, generados luego de la activación de la NADPH oxidasa

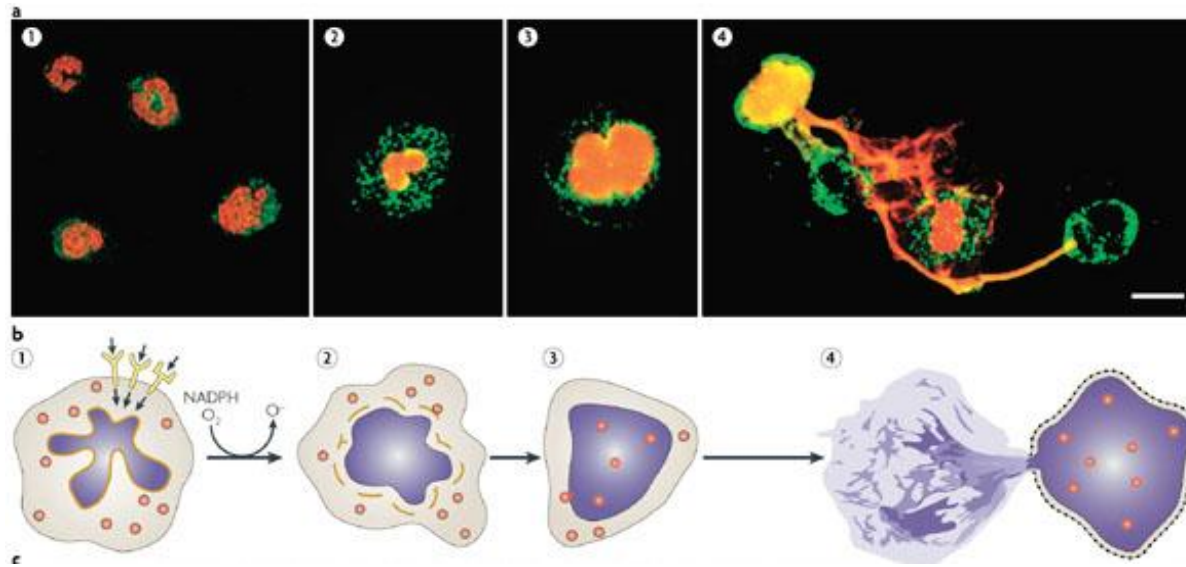


Mecanismos microbicidas dependientes del oxígeno



La activación de la NADPH oxidasa conduce a la síntesis de anión superóxido, a partir del cual se generan otros oxidantes (peróxido de hidrógeno, ácido hipocloroso, cloraminas, etc)

Los neutrófilos también pueden atrapar microorganismos mediante NETs que evitan su dispersión y contribuyen a su eliminación

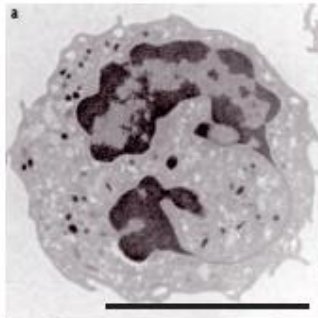


Nature Reviews Microbiology 5, 577-582; 2007

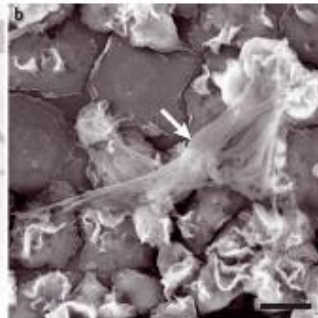
- Las NETs están compuestas por cromatina y proteínas asociadas a ella, como proteasas lisosomales, proteínas citoplasmáticas y proteínas nucleares
- Son liberadas en respuesta a bacterias, virus, hongos y parásitos
- Actúan como una red de contención de la infección atrapando a los microorganismos y mediando su destrucción extracelular gracias a su capacidad de sostener una alta concentración local de sustancias antimicrobianas

Atrapamiento y muerte mediante trampas extracelulares de neutrófilos (NETs)

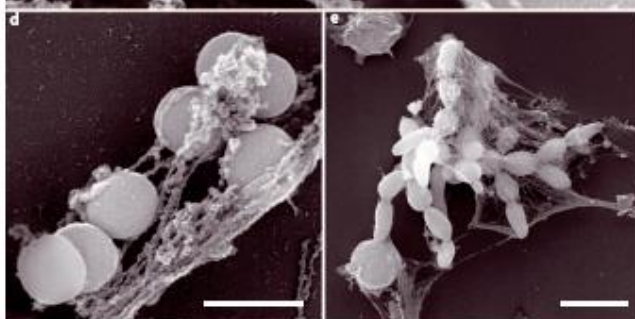
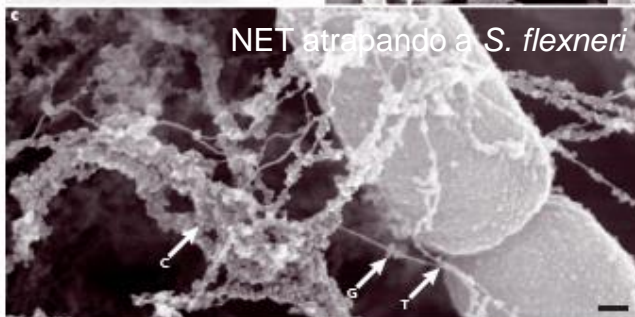
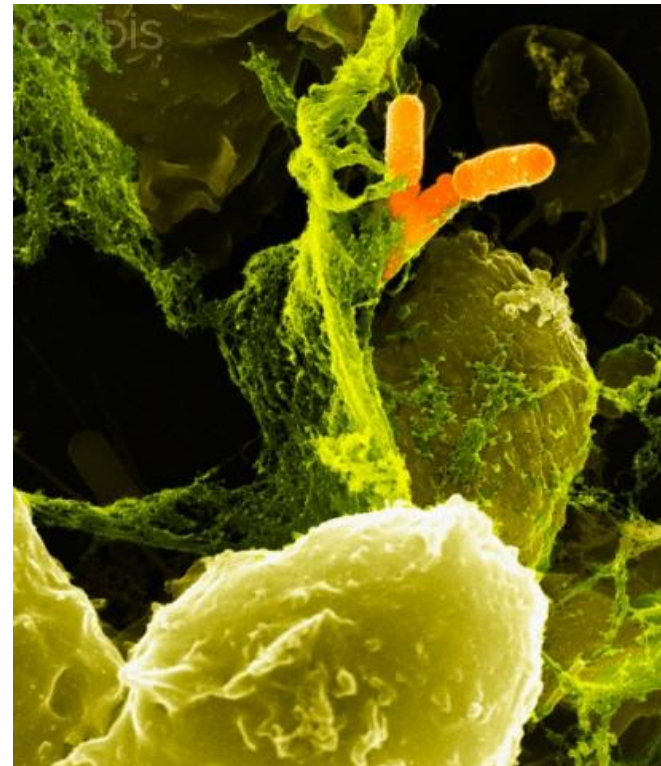
Neutrófilo en reposo



Neutrófilo formando NETs



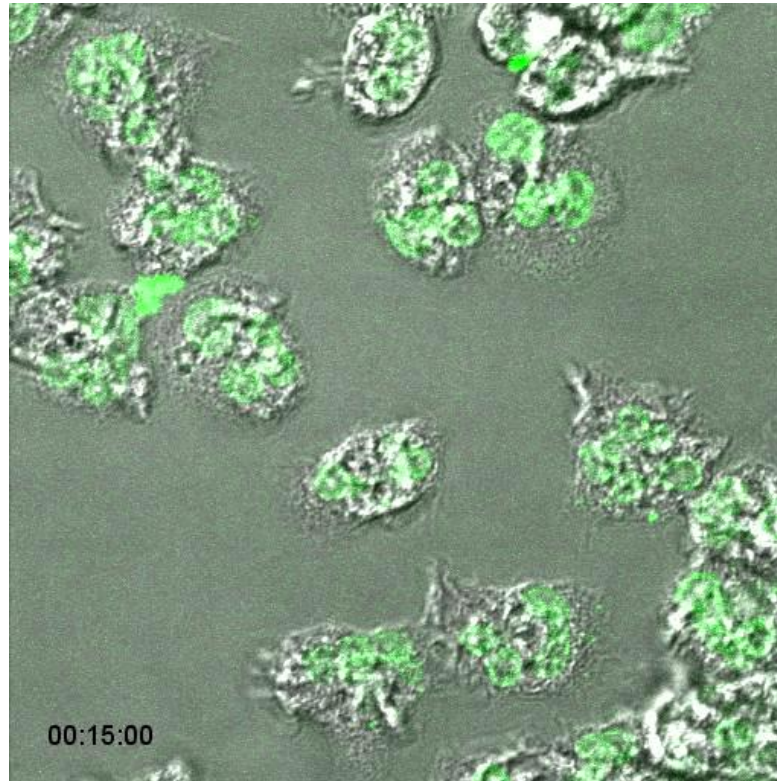
NET atrapando a *Shigella flexneri*. SEM



NET atrapando a *S. aureus*

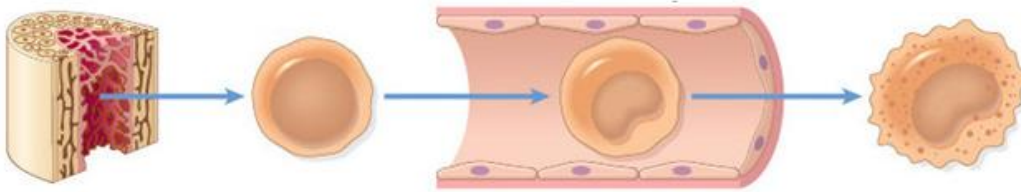
© Dr. Volker Brinkmann

Brinkmann V & Zychlinsky A, Nature Reviews Microbiol, 2007



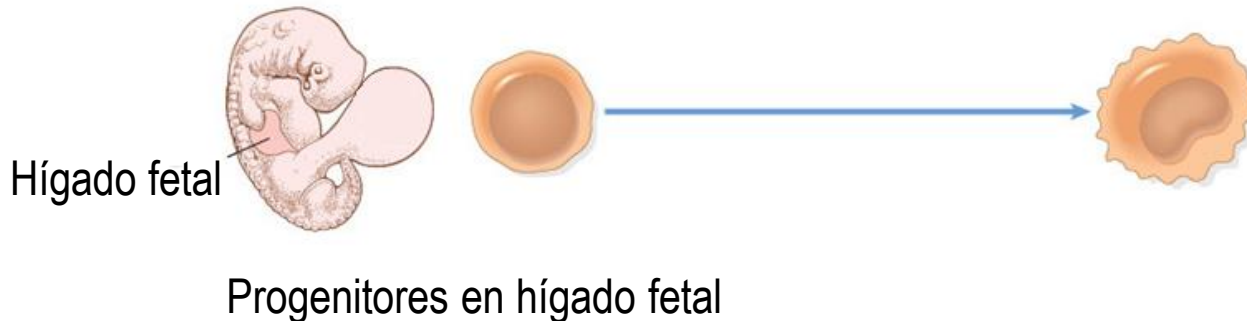
El reclutamiento más tardío de monocitos contribuye a incrementar la presencia de macrófagos en el foco infeccioso

Macrófagos diferenciados durante respuestas inflamatorias



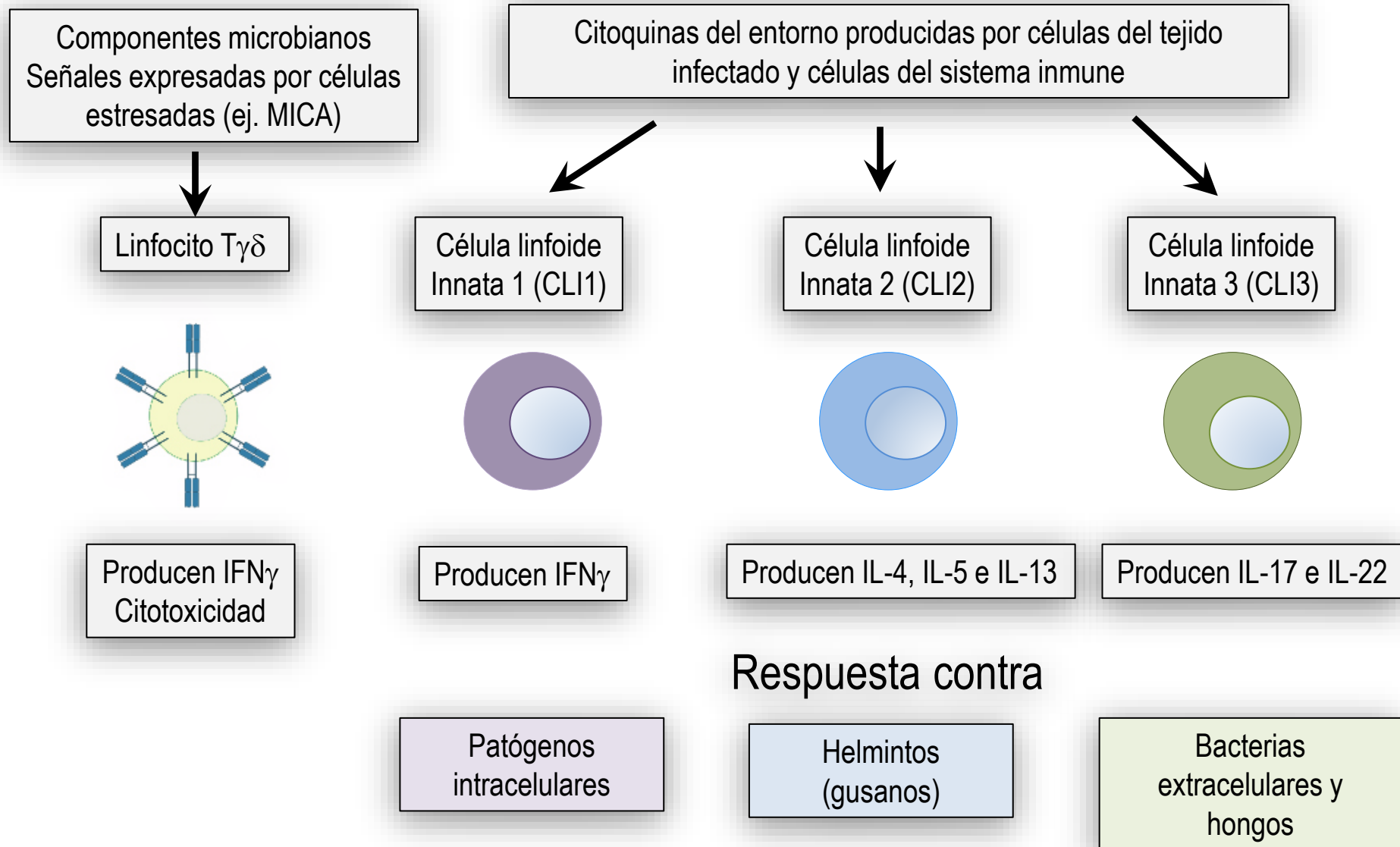
Monocitos infiltrantes que se diferencian “in situ” en macrófagos, en diferentes tejidos.

Macrófagos residentes en tejidos

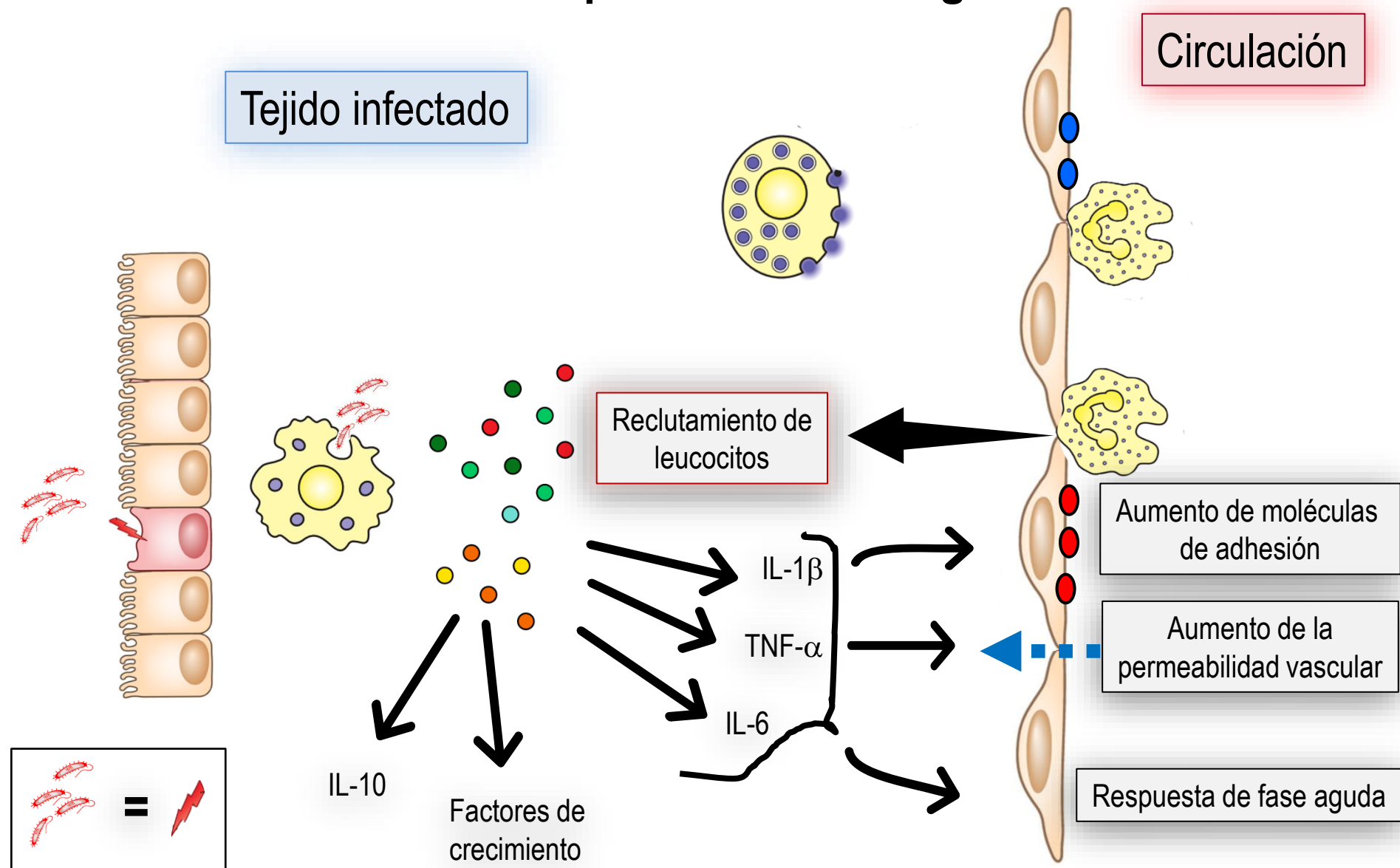


Macrófagos residentes: Células de Kupffer, macrófagos alveolares, microglía, etc.

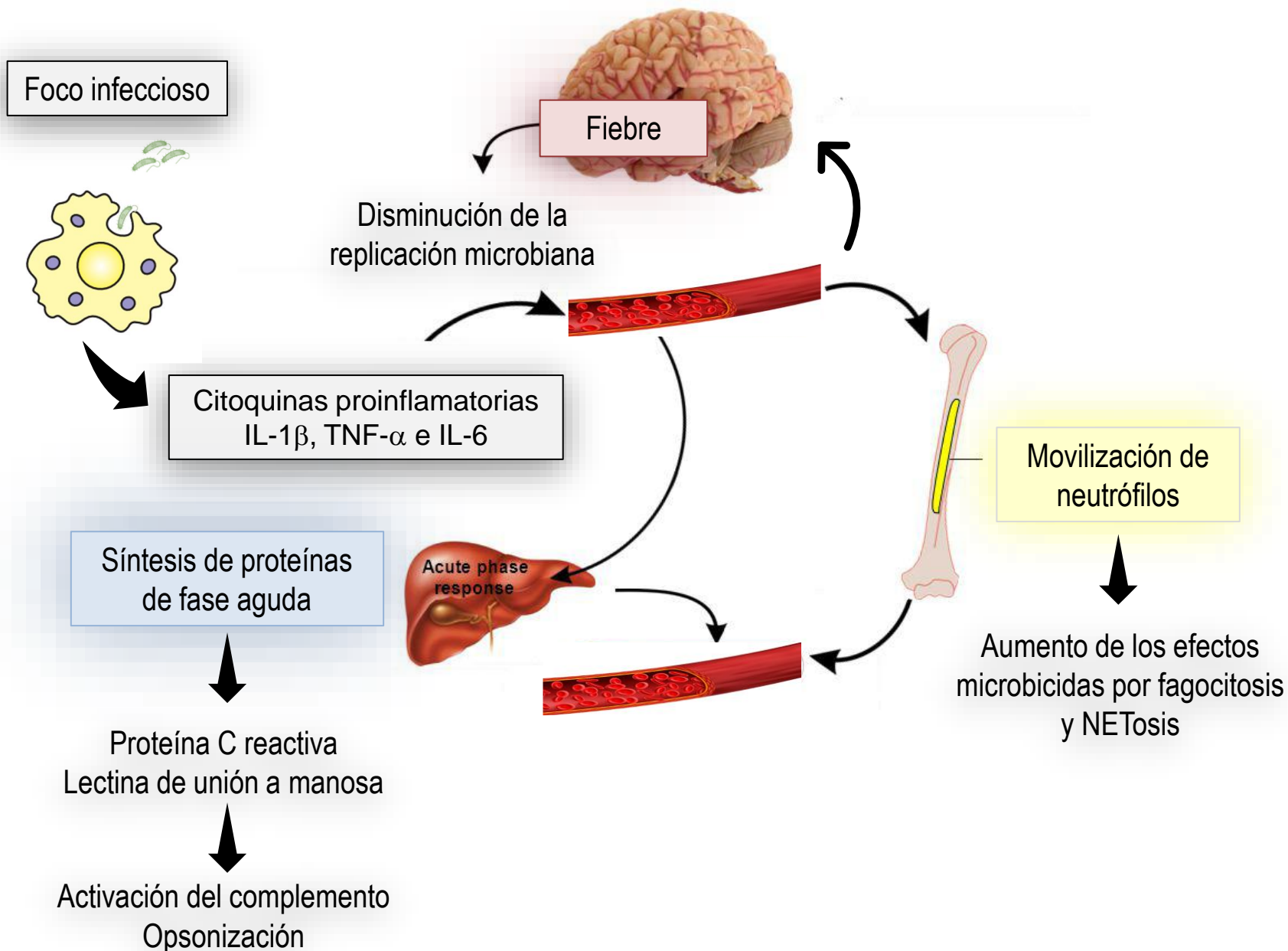
Los linfocitos $T\gamma\delta$ matan a células infectadas y en conjunto con los linfocitos innatos producen citoquinas que contribuyen a la defensa antimicrobiana



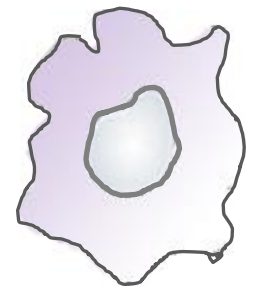
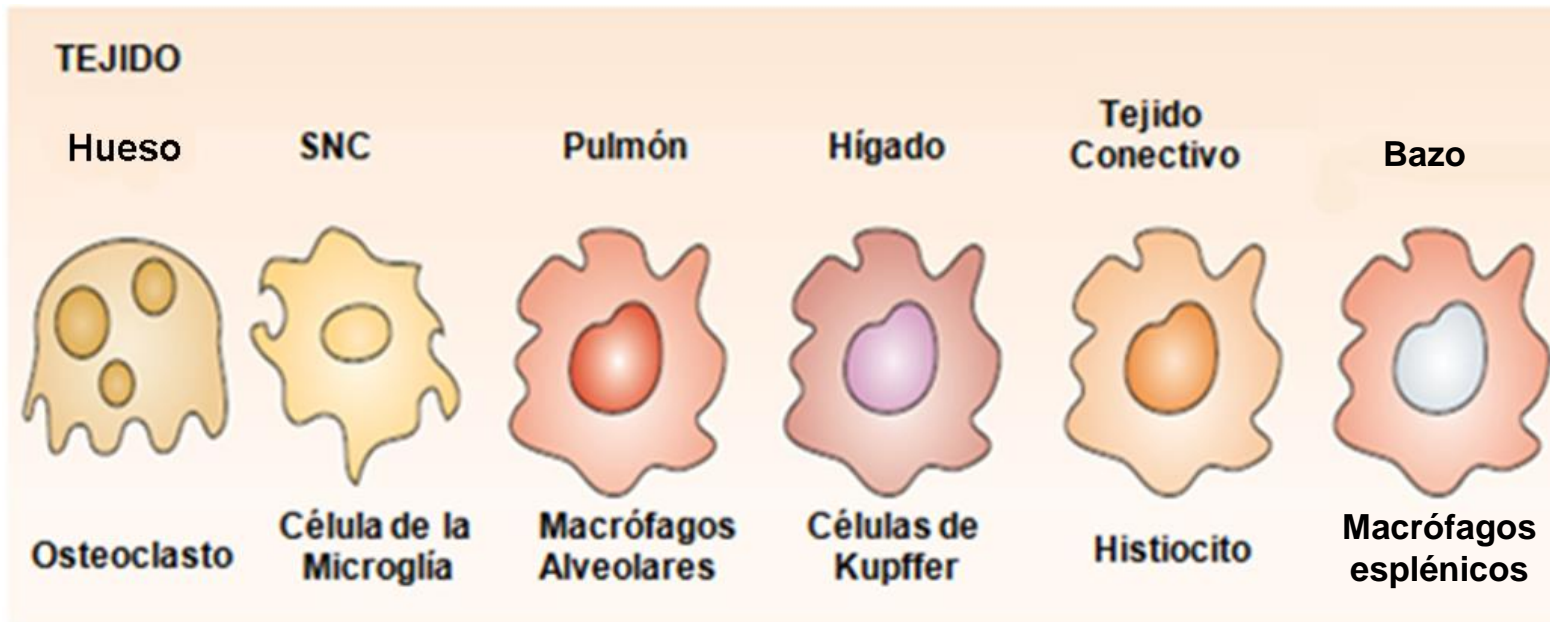
Los macrófagos en el tejido secretan citoquinas proinflamatorias que también ejercen efectos sistémicos conocidos en conjunto como “Respuesta de Fase Aguda”



Respuesta de Fase Aguda

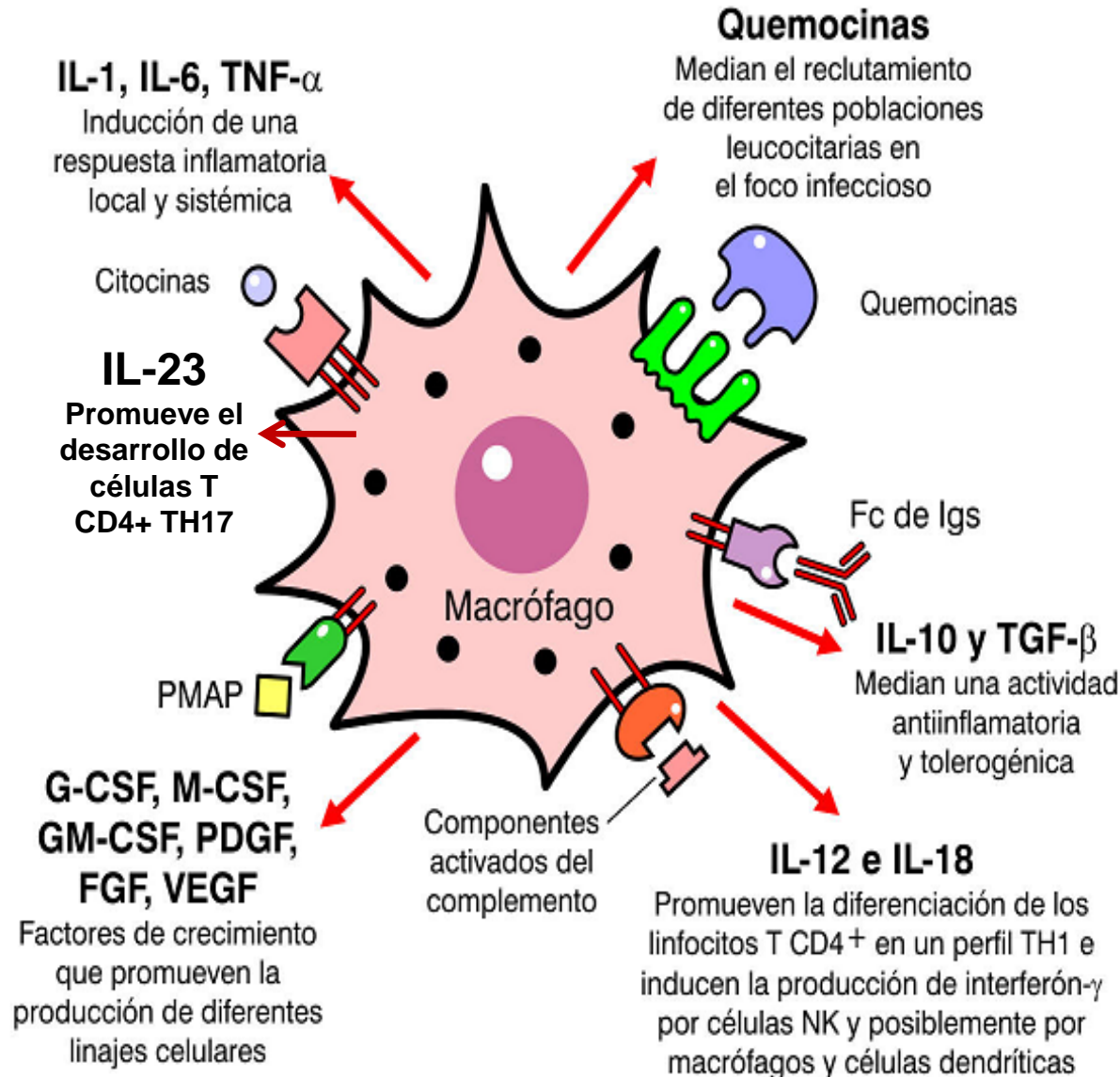


El macrófago en diferentes localizaciones tisulares

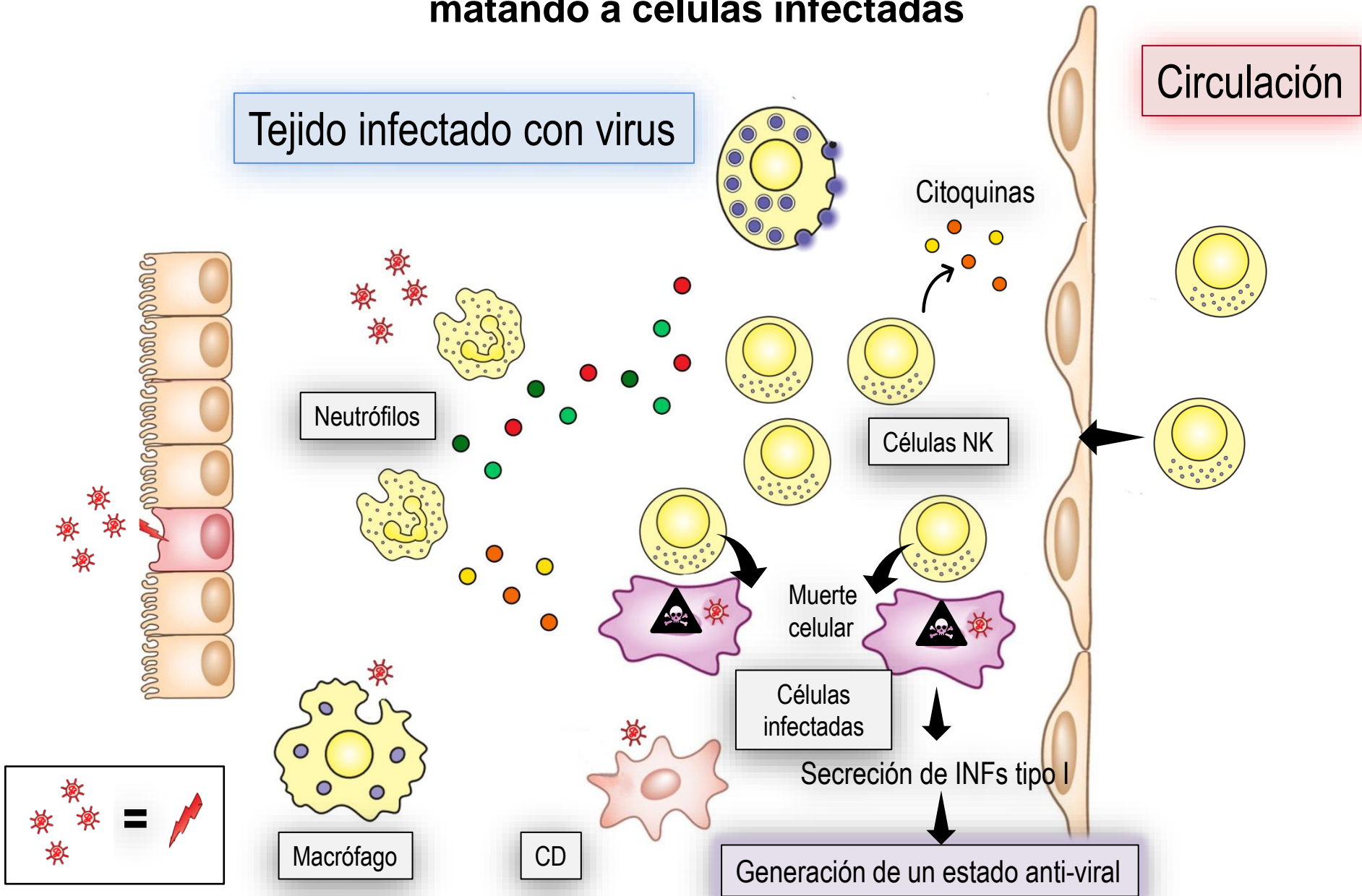


Macrófagos inflamatorios y macrófagos alternativos diferenciados de monocitos extravasados

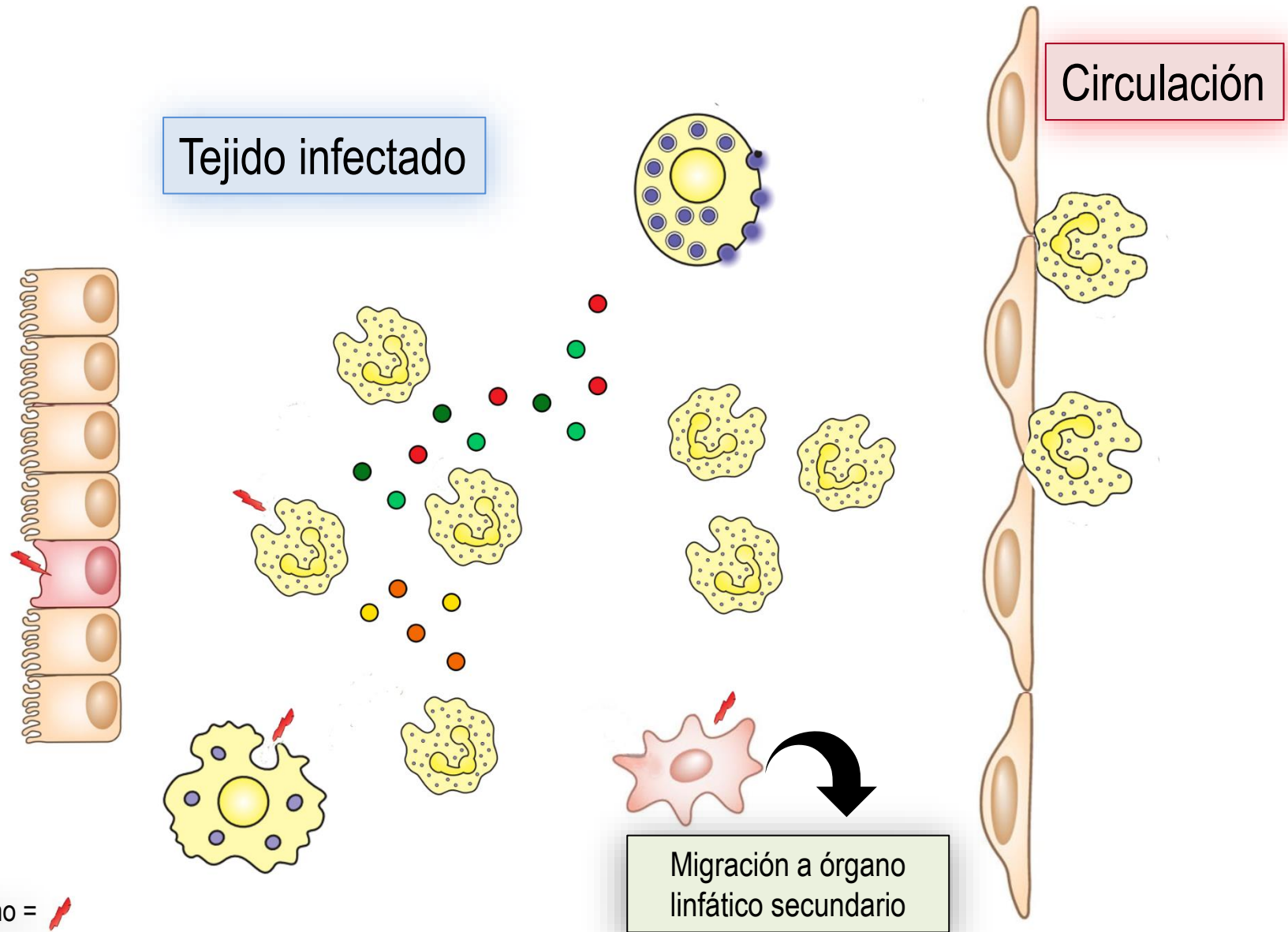
Citocinas y quimiocinas que puede producir el macrófago en respuesta a su estimulación por PAMPs, componentes del complemento y citoquinas proinflamatorias



En infecciones virales se reclutan al foco infeccioso células NK que contribuyen al control de la infección secretando citoquinas y matando a células infectadas



Las células dendríticas fagocitan microorganismos, endocitan sus componentes, producen citoquinas y migran al órgano linfático secundario drenante para iniciar la respuesta inmune adaptativa



Microorganismo = 

En conjunto, los mecanismos inmunes innatos intentarán eliminar al agente infectante, o al menos, contener circunscripta a la infección hasta tanto se desarrolle una respuesta inmune adaptativa

¿Todas las células inmunes innatas participan de la respuesta inflamatoria?

Aun cuando muchas de las células mencionadas pueden activarse o ser reclutadas a los focos de infección, la relevancia de cada una de ellas varía dependiendo del patógeno en cuestión. Por ejemplo, los neutrófilos cumplen un papel relevante y no redundante en infecciones por bacterias extracelulares, pero su rol en infecciones virales puede ser perjudicial o beneficioso dependiendo del tipo de infección. Por su parte, las células NK son relevantes en infecciones virales y por patógenos intracelulares, pero no participan en la respuesta a bacterias extracelulares.

¿En todas las infecciones se activa una respuesta de fase aguda?

Sí, aunque su intensidad varía dependiendo de la magnitud de la infección (localizada vs. sistémica) y de las características del agente infeccioso

¿Es beneficiosa la respuesta inflamatoria?

Sí, en la medida que sea activada en tiempo e intensidad adecuadas

Efectos beneficiosos

Permite el control o la contención de la infección gracias a que:

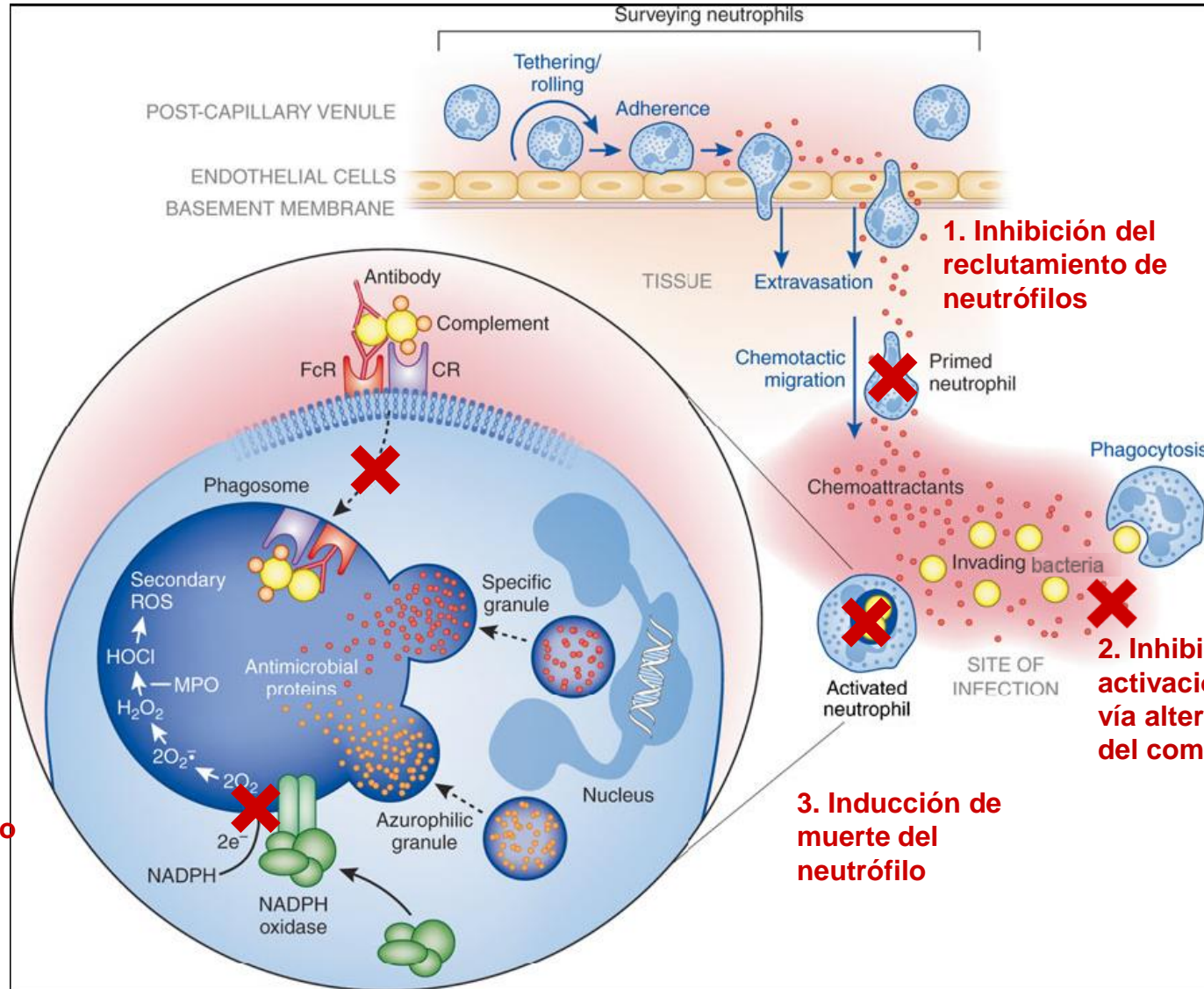
- Amplifica respuesta para el acceso de Acs, complemento y proteínas de fase aguda y células capaces de mediar la eliminación de los microorganismos.
- Atrapamiento de microorganismos por NETs y por formación de tramas de fibrina a partir del fibrinógeno exudado
- Aumento del aporte de oxígeno para asistir a la demanda incrementada por células fagocíticas
- Drenaje linfático para activación de la respuesta adaptativa

Efectos indeseables

Cuando la respuesta es exagerada o inapropiadamente activada

- Ocasiona extenso daño tisular que puede comprometer la funcionalidad orgánica
- Puede ocasionar edema que puede comprometer la vida del individuo (edema de glotis, intracraneal, etc)
- Dolor
- Somnolencia

La batalla evolutiva: Los microorganismos desarrollaron mecanismos para evadir la acción del sistema inmune



Gracias