

**FISIOLOGIA MEDICINA**

**FISIOLOGÍA  
DEL  
APARATO DIGESTIVO**

**2010**

**Ximena Páez**

**IMPORTANTE:**

Estos materiales audiovisuales  
NO sustituyen el uso de los  
libros para el estudio de la  
fisiología

## FUENTES

- *Ganong's Review of Medical Physiology*. 23<sup>er</sup>. Ed. K.E. Barrett, S.M. Barman, S. Boitano, H.L. Brooks Eds. Lange, **2010**.
- Silbernagl S. Despopoulos. *Fisiología. Texto y Atlas* 7<sup>ima</sup> Ed. Editorial Médica Panamericana, **2009**.
- Fox S.I. *Human Physiology*. 10<sup>th</sup> edition. McGraw-Hill, New York, **2008**.
- Costanzo L.S. *Physiology*. 3<sup>er</sup> Ed. Saunders Elsevier, **2006**.
- K. M. Barrett. *Gastrointestinal Physiology*. Lange Physiology Series. McGraw-Hill, **2006**.
- A.C. Guyton, J.E Hall. *Textbook of Medical Physiology*. 10th Edition W.B. Saunders Co., Philadelphia, **2000**.
- M. Gershon. *The Enteric Nervous System: a Second Brain*. Hospital Practice. **1999**.
- L. Wilson-Pauwels, P.A. Stewart, E.J. Akesson. *Autonomic Nerves*. B.C. Decker Inc. Hamilton, **1997**.
- R.A. Bowen. Biomedical Sciences. *Digestive System*. Colorado State University, **2006**. Disponible en: <http://arbl.cvmb.colostate.edu/hbooks/pathphys/digestion/index.html>
- *Advanced Physiology*. Berkeley University. **2006**. Disponible en: <http://mcb.berkeley.edu/courses/mcb136>
- *The Inner Tube of Life*. Special Collection Science 307: 1914 **2005** [DOI: 10.1126/science.307.5717.1914a]. Disponible en: <http://www.sciencemag.org/cgi/content/summary/sci;307/5717/1895>

Material de clases  
2010

- Portal SABER ULA  
[www.saber.ula.ve](http://www.saber.ula.ve) Buscar: fisiología del aparato digestivo
- Portal CEIDIS ULA  
[http://www.ceidis.ula.ve/cursos/medicina/fisiologia\\_digestiva/](http://www.ceidis.ula.ve/cursos/medicina/fisiologia_digestiva/)

Programa  
Lecturas, PPS  
Casos, preguntas, ejercicios  
Glosario

## Fisiología del Aparato Digestivo

- Generalidades de la función digestiva
- Control neural de la función digestiva
- Boca esófago
- Estómago
- Control humoral de la función digestiva
- Hígado
- Páncreas
- Intestino delgado
- Digestión
- Absorción nutrientes
- Absorción de agua, electrolitos y vitaminas
- Colon

# Aparato Digestivo

## TEMA 1

I. INTRODUCCIÓN

II. MORFOLOGÍA

III. MOTILIDAD

IV. SECRECIÓN

V. CIRCULACIÓN

VI. REGULACIÓN



¿ Por qué tenemos que comer?

# I. INTRODUCCIÓN



El cuerpo necesita  
**ENERGÍA**  
para sobrevivir

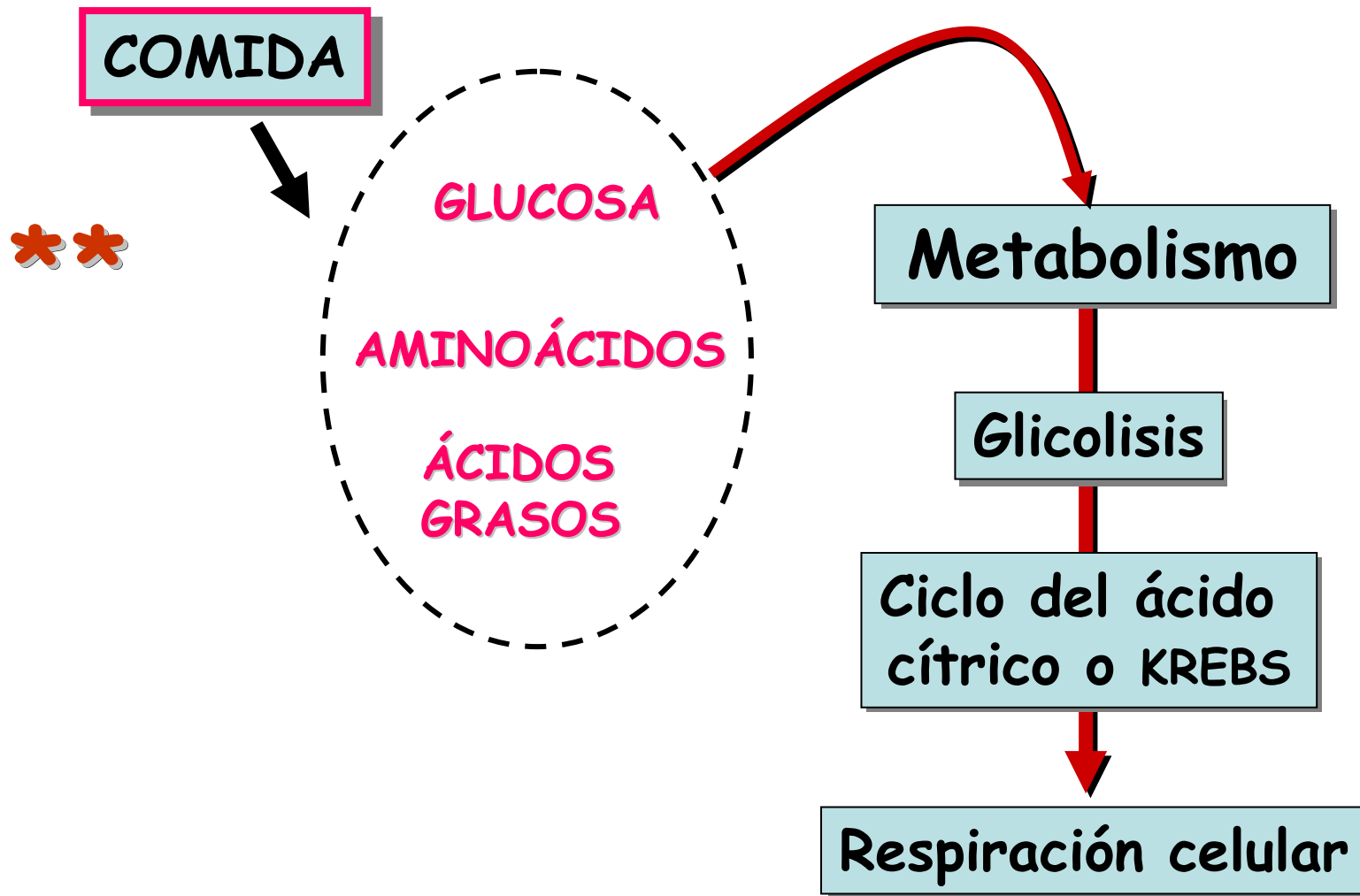


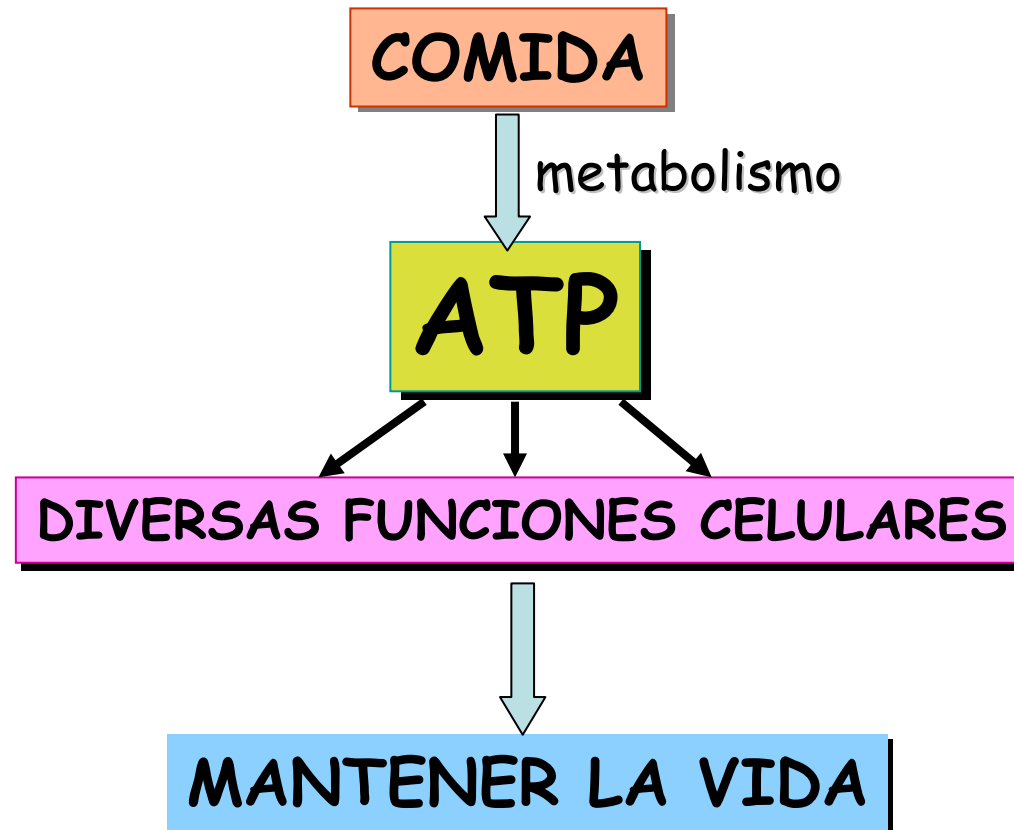
La energía se obtiene de los  
**ALIMENTOS**



Los alimentos tienen que ser  
**INGERIDOS,  
DIGERIDOS Y ASIMILADOS**







¿Cómo se **transforman** los alimentos ingeridos en elementos que se utilicen en metabolismo para obtener energía?

## I. INTRODUCCIÓN

### APARATO DIGESTIVO

¿En QUÉ consiste?

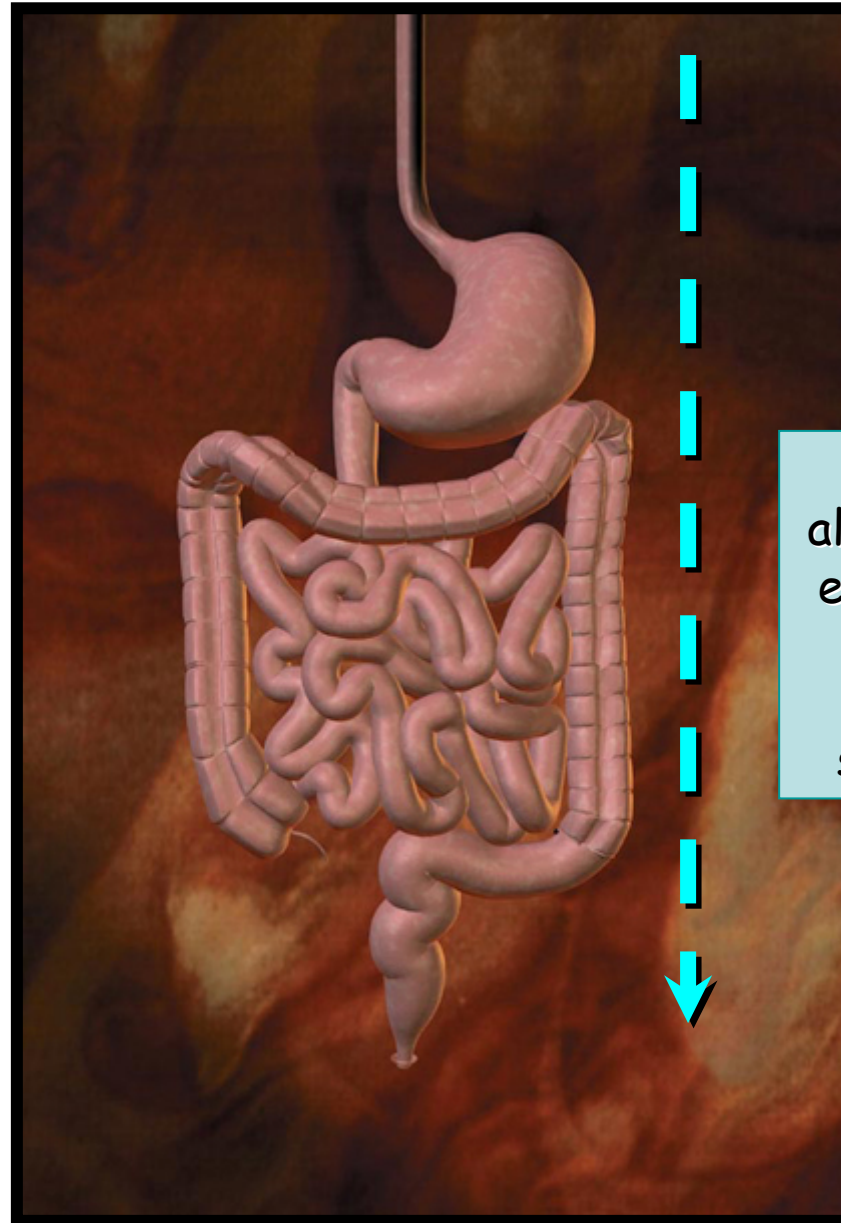
¿QUÉ hace?

¿QUÉ entra y QUÉ sale?

¿CÓMO hace esto?

¿En QUÉ consiste?

**TUBO**  
**BOCA - ANO**  
una sola vía  
a lo largo del  
cuerpo



Flujo  
altamente  
eficiente  
en un  
sólo  
sentido

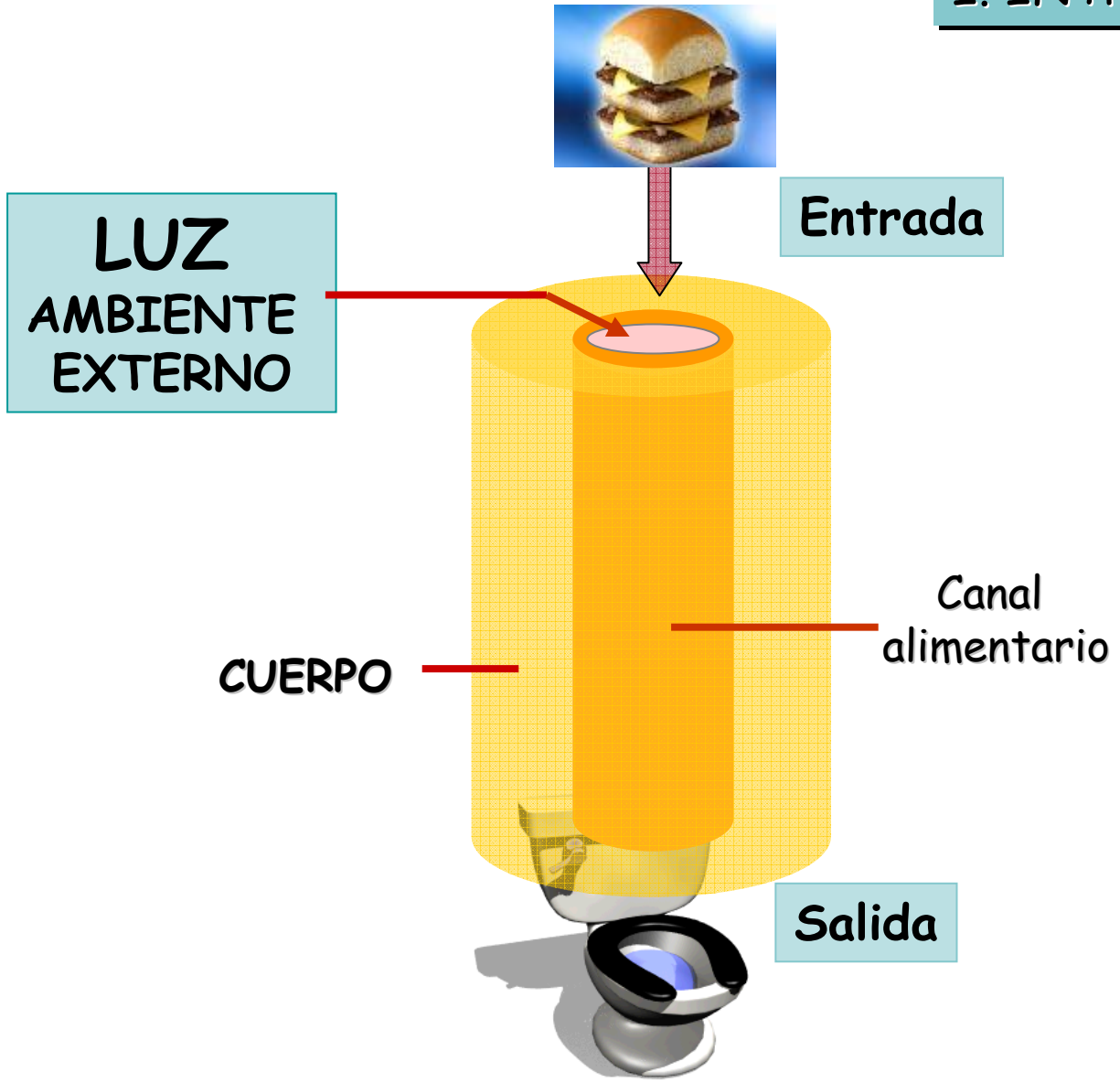


## I. INTRODUCCIÓN

¿QUÉ hace?

Es portal de  
entrada de nutrientes  
desde el exterior a la sangre  
para su asimilación

# I. INTRODUCCIÓN



## I. INTRODUCCIÓN

¿QUÉ entra  
y  
QUÉ sale?



**APORTE**



2-2.5 lts

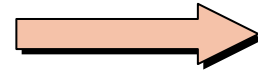


500 g

**COMIDA**

**I. INTRODUCCIÓN**

**BOCA**



24-48 HS



**DESECHO**



0.2 lts



25 g

**HECES**

**ANO**



# I. INTRODUCCIÓN



## APORTE

Nutrientes  
CH  
Proteínas  
Grasa  
+  
Agua  
Electrolitos  
Vit. Minerales  
Celulosa

APORTE - DESECHO =  
COMIDA ABSORBIDA

DESECHO

Heces



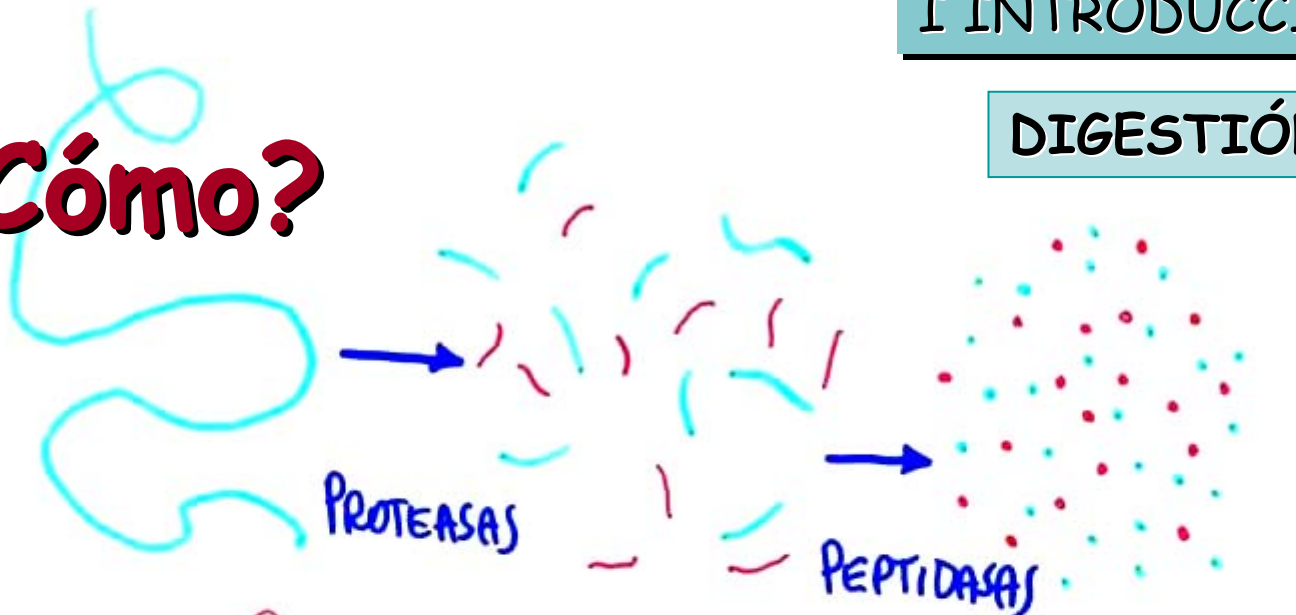
ASIMILACIÓN



I INTRODUCCIÓN

DIGESTIÓN

¿Cómo?

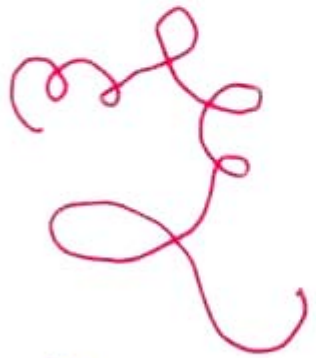


PROTEASAS

PEPTIDASAS

PÉPTIDOS

AMINO  
ÁCIDOS  
LIBRES

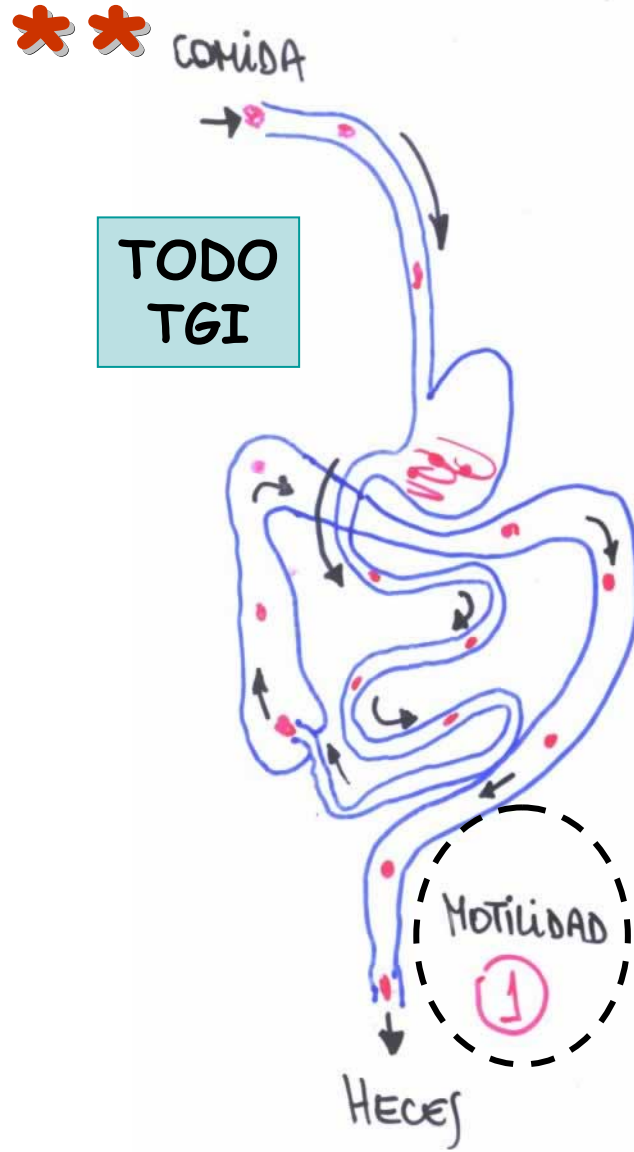


PROTEÍNAS

DESENSAMBLAJE

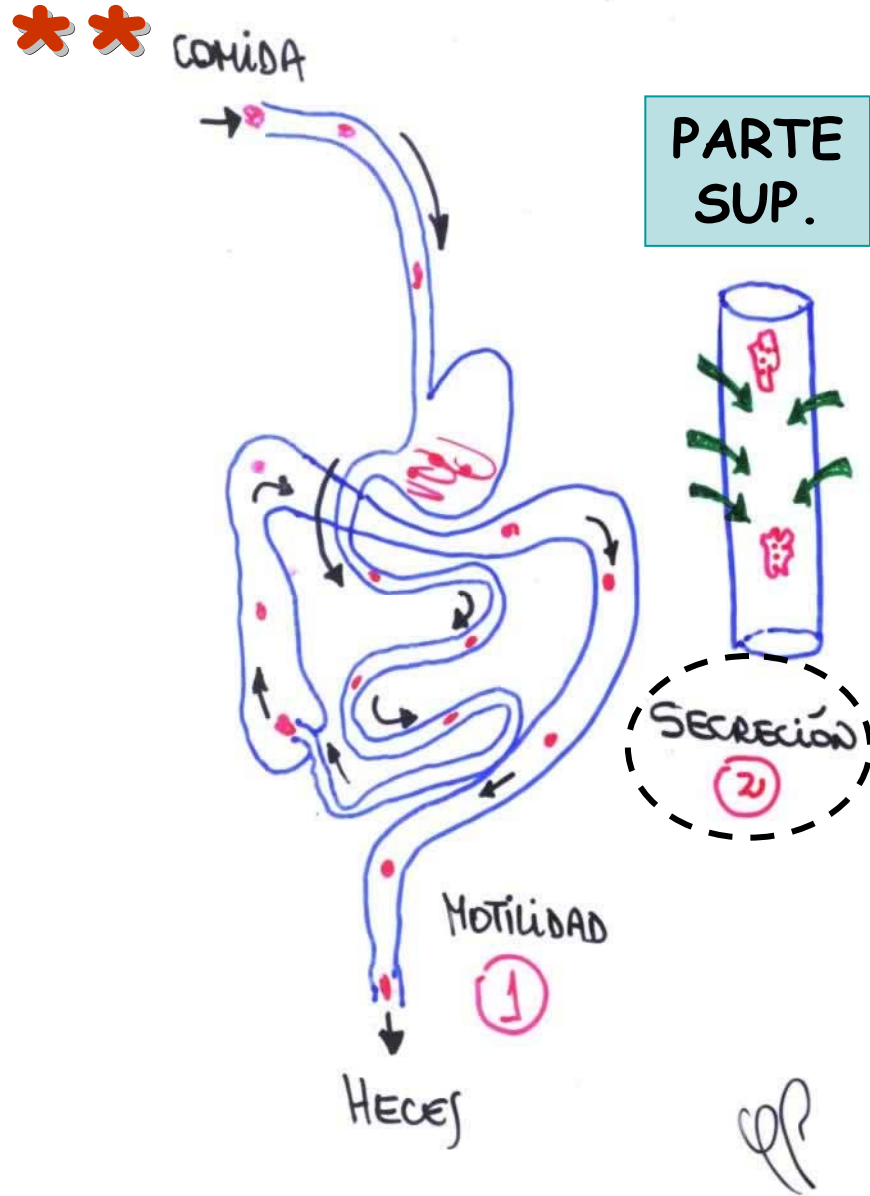
ASIMILACIÓN

ps



# I INTRODUCCIÓN

## FUNCIONES

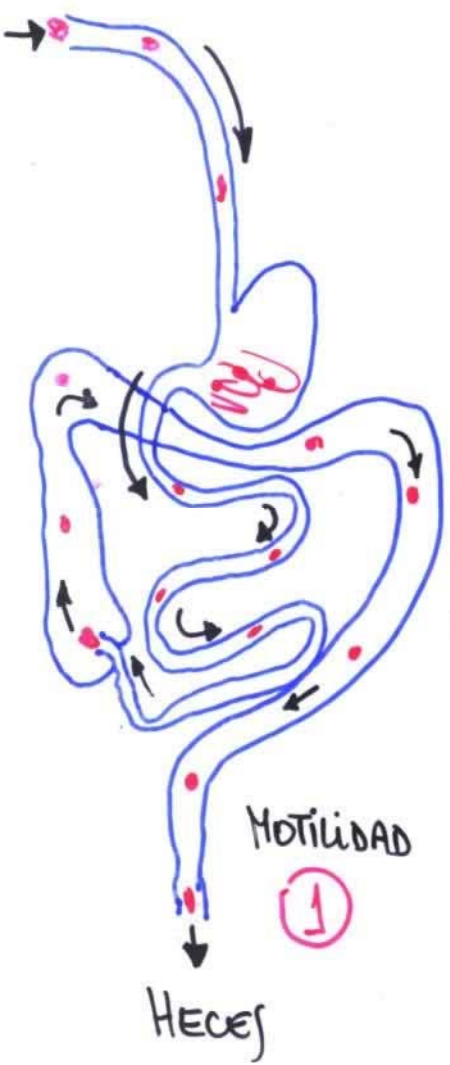


# I INTRODUCCIÓN

## FUNCIONES



COMIDA



MOTILIDAD

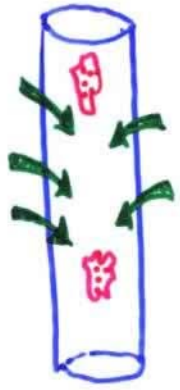
①

HECES

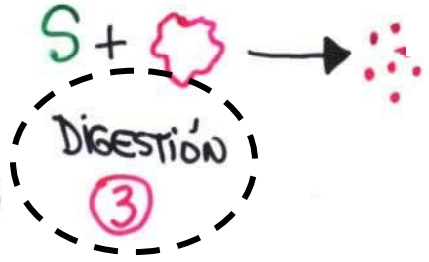
# I INTRODUCCIÓN

## FUNCIONES

### PARTE SUP. - MEDIA

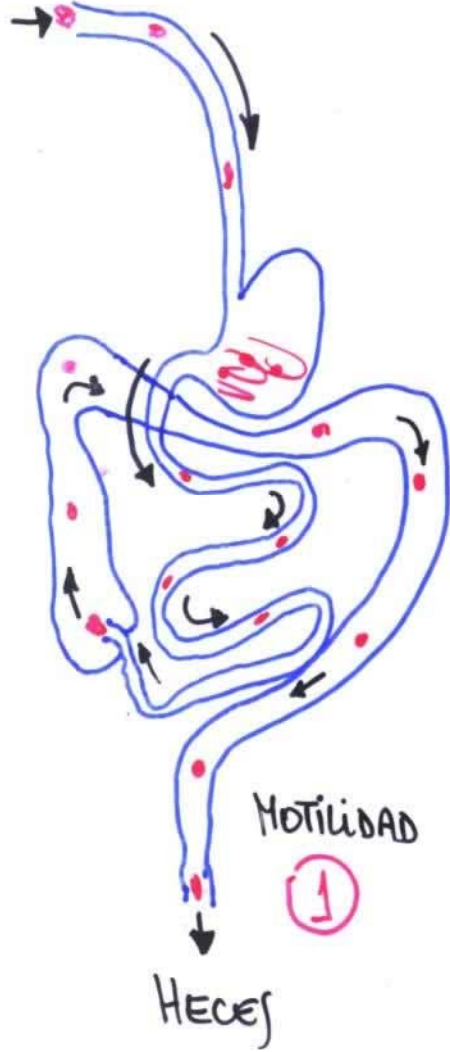


SECRECIÓN  
②



pp

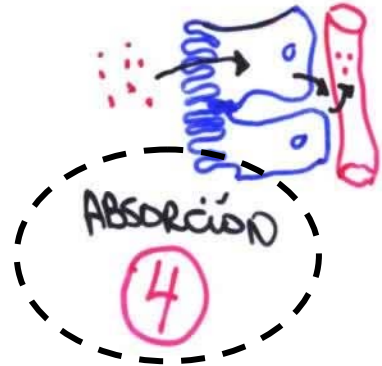
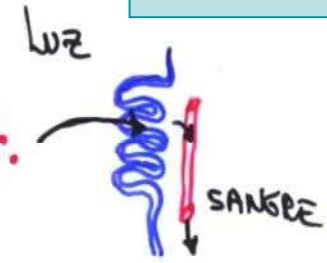
\* \* COMIDA



# I INTRODUCCIÓN

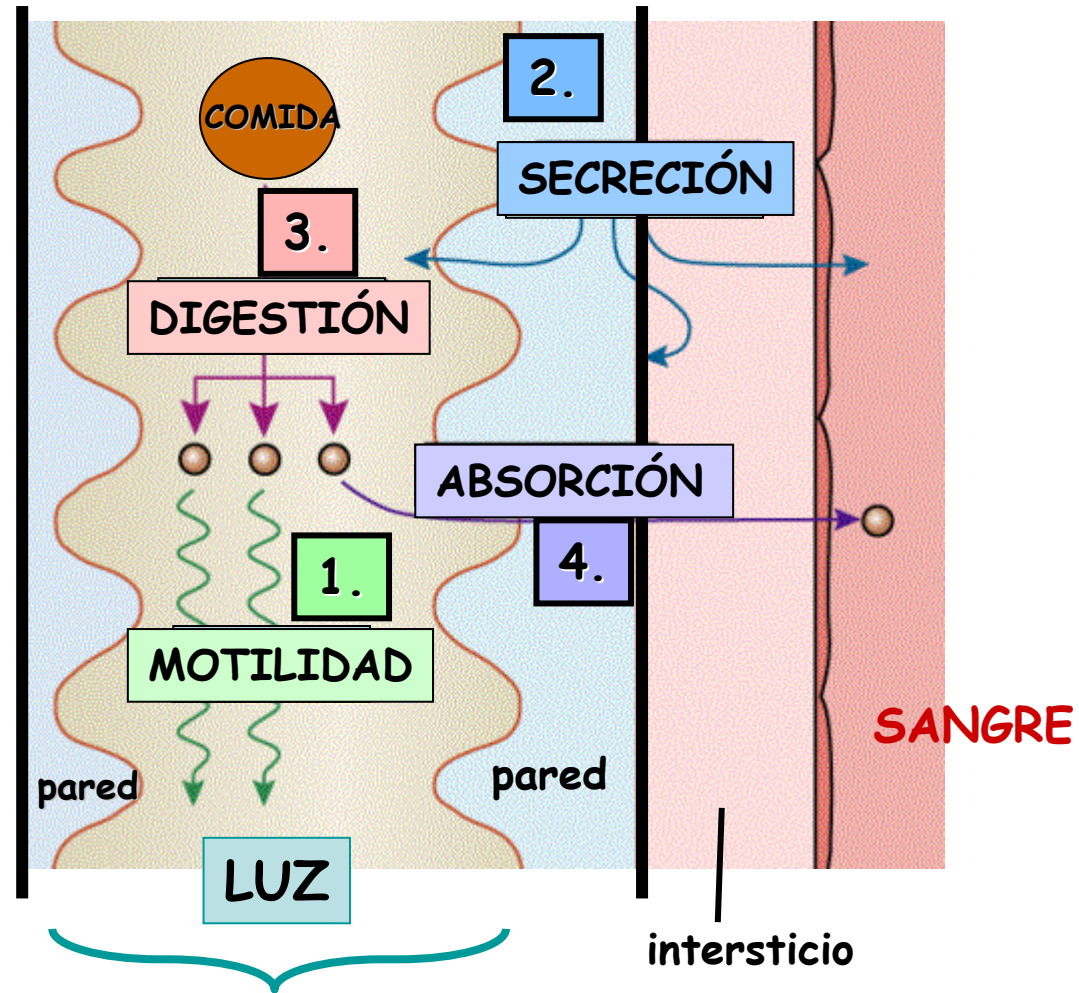
## FUNCIONES

### PARTE MEDIA



pp

# FUNCIÓN DIGESTIVA







## FUNCIONES

- MOTILIDAD
- SECRECIÓN
- DIGESTION
- +
- CIRCULACIÓN

+

CONTROL

Entre partes TGI

"CONVERSACIONES"

Entre partes y SNC



## FUNCIONES

- MOTILIDAD
- SECRECIÓN
- DIGESTION
- +  
• CIRCULACIÓN

+

CONTROL

Entre partes TGI

"CONVERSACIONES"

Entre partes y SNC

CONTROL

• MENSAJES ELECTROQUÍMICOS

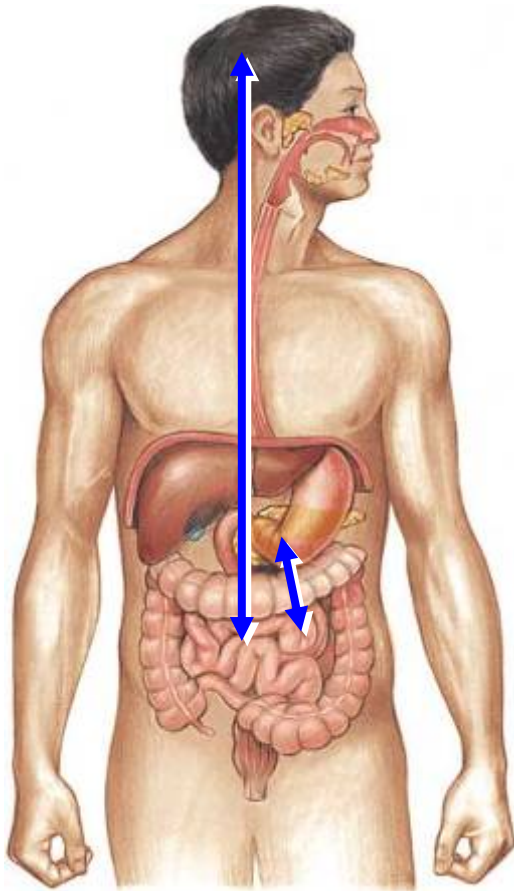
SN ENTÉRICO  
SN AUTÓNOMO

• MENSAJES HUMORALES

SE ENTÉRICO  
SE GENERAL  
S. INMUNE ENTÉRICO



## CONTROL NEURO-HUMORAL



## "Conversaciones "

"oigo ruido en la cocina, comienzo a producir secreciones"

**Cerebro → Tubo GI**

"prepárate, acabo de recibir mucha comida"

**Estómago → Intestino**

"no me mandes más comida hasta que termine con lo que tengo"

**Intestino → Estómago**

## Trataremos de contestar...

¿por qué los bebés evacúan después del tetero?

¿cómo se eliminan los "ruidos de hambre"?

¿por qué se seca la boca si me asusto?

¿por qué se distiende el abdomen si como caraoatas?

¿por qué la gente toma "sal de frutas"?

¿por qué se toma café al final de las comidas?

**Etc...**



- Portal SABER ULA  
[www.saber.ula.ve](http://www.saber.ula.ve)      Buscar: fisiología del aparato digestivo
- Portal CEIDIS ULA  
[http://www.ceidis.ula.ve/cursos/medicina/fisiologia\\_digestiva/](http://www.ceidis.ula.ve/cursos/medicina/fisiologia_digestiva/)

Programa  
Lecturas, PPS  
Casos, preguntas, ejercicios  
Glosario

## **II MORFOLOGÍA**

**1. PARTES TGI**

**2. ESTRUCTURA TUBO GI**

## Aparato digestivo

Tubo digestivo  
+  
Glándulas  
accesorias



## II MORFOLOGÍA

Boca-ano  
+  
Glándulas salivales  
Hígado  
Páncreas

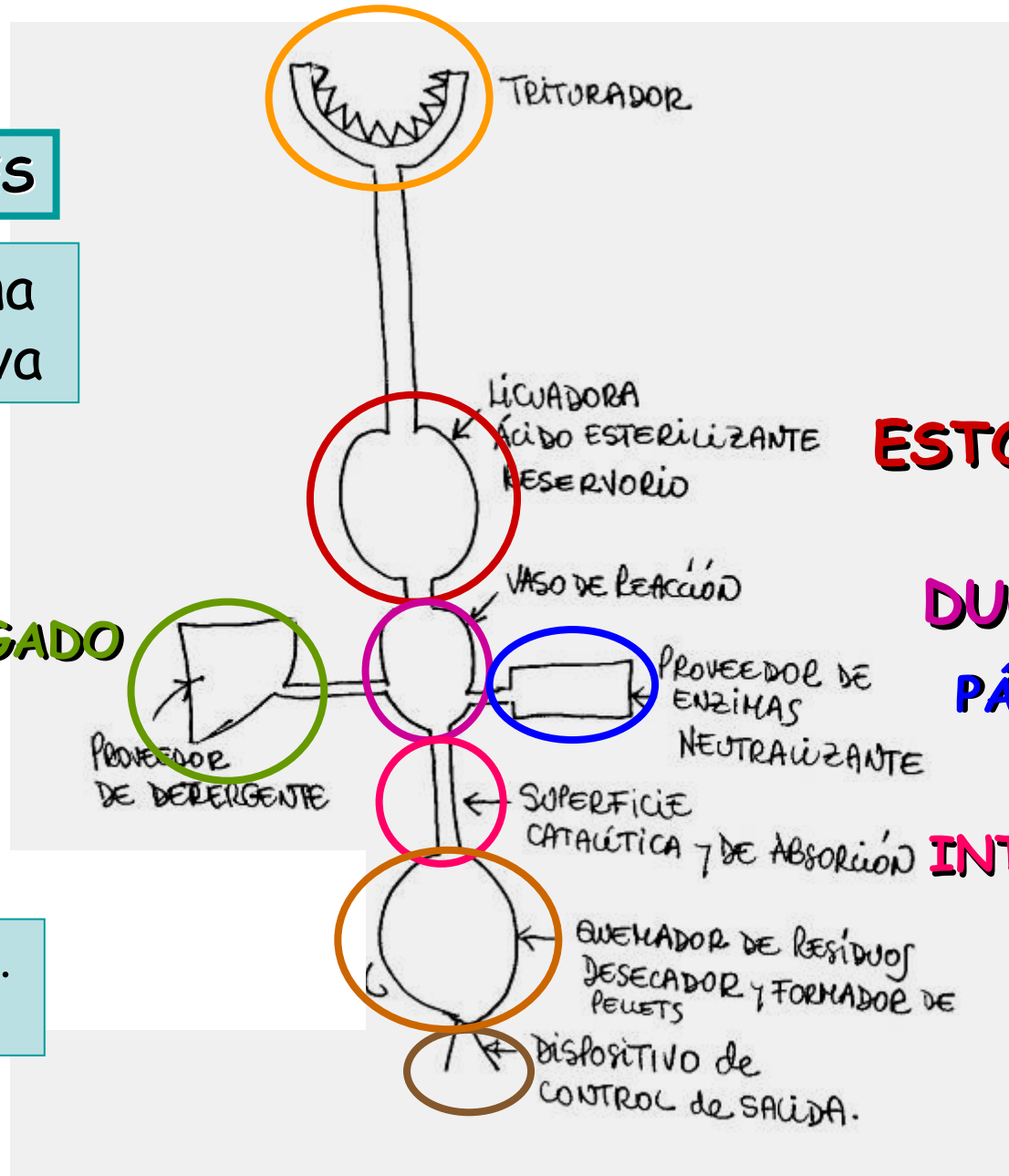
\*\*\*

1. PARTES

Máquina Digestiva

HÍGADO

Aparato vs. Sistema



BOCA

ESTÓMAGO

DUODENO  
PÁNCREAS

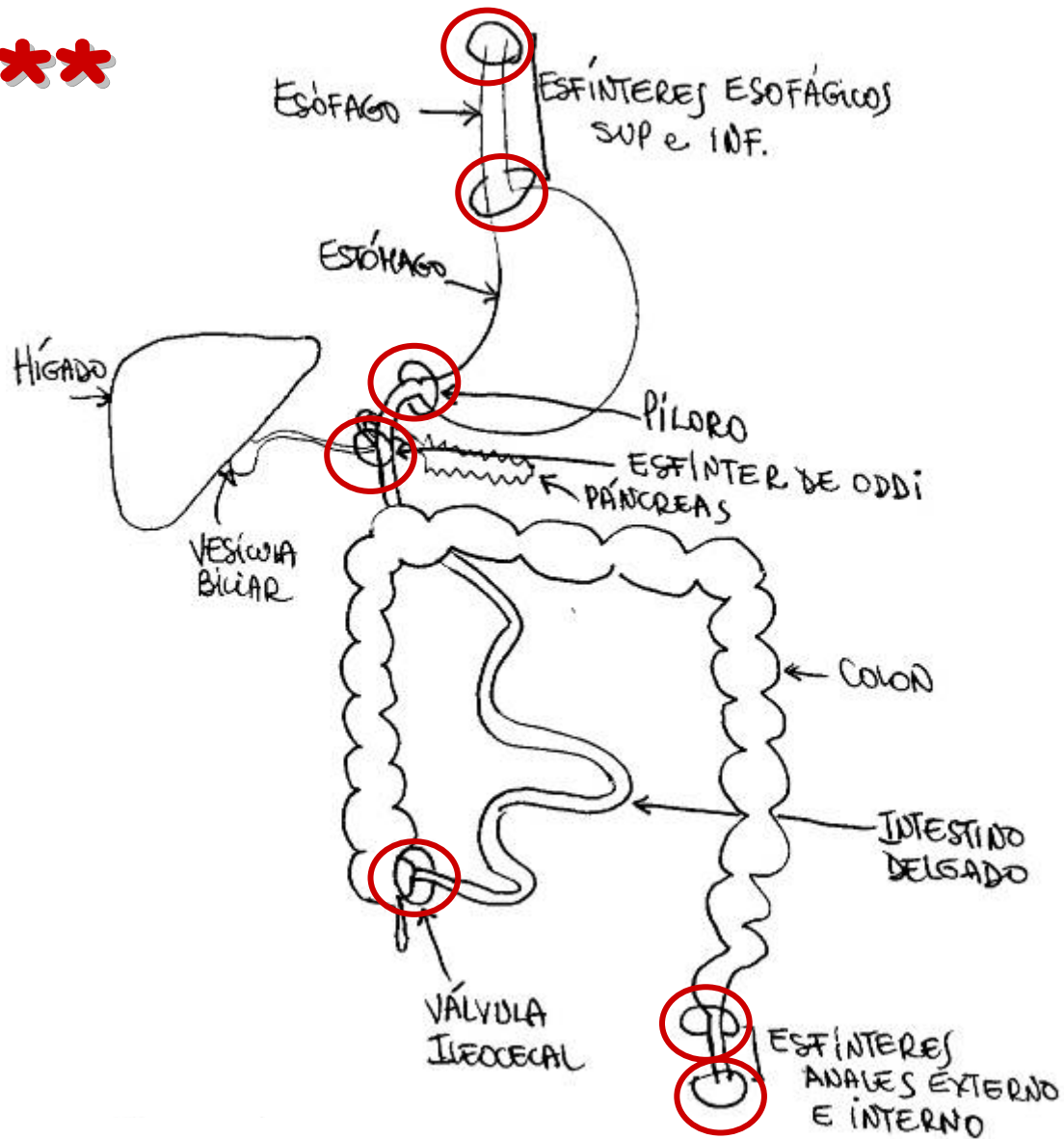
INTESTINO

COLON

ANO



\*\*\*

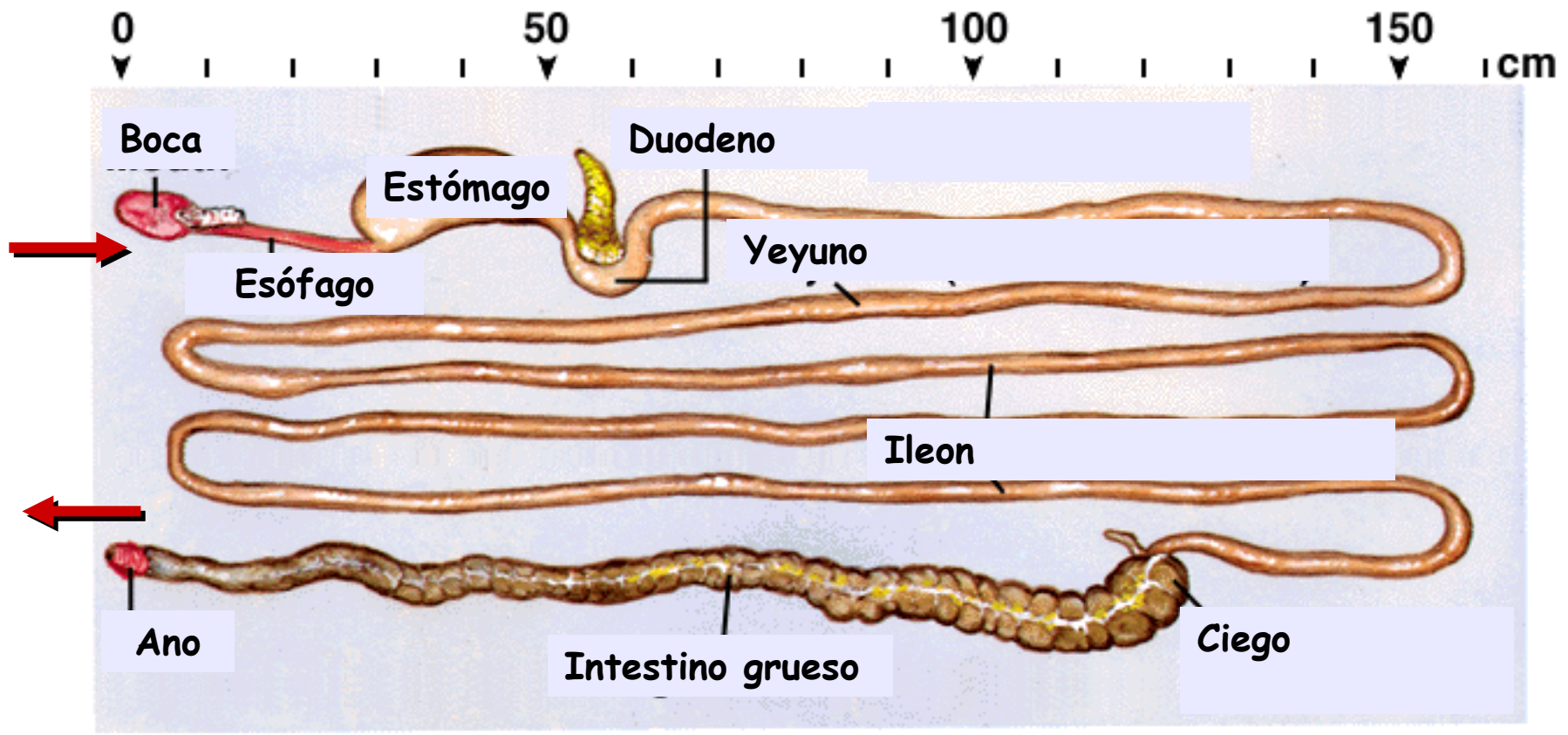


# 1. PARTES

División funcional en segmentos por esfínteres y válvulas

1.PARTES

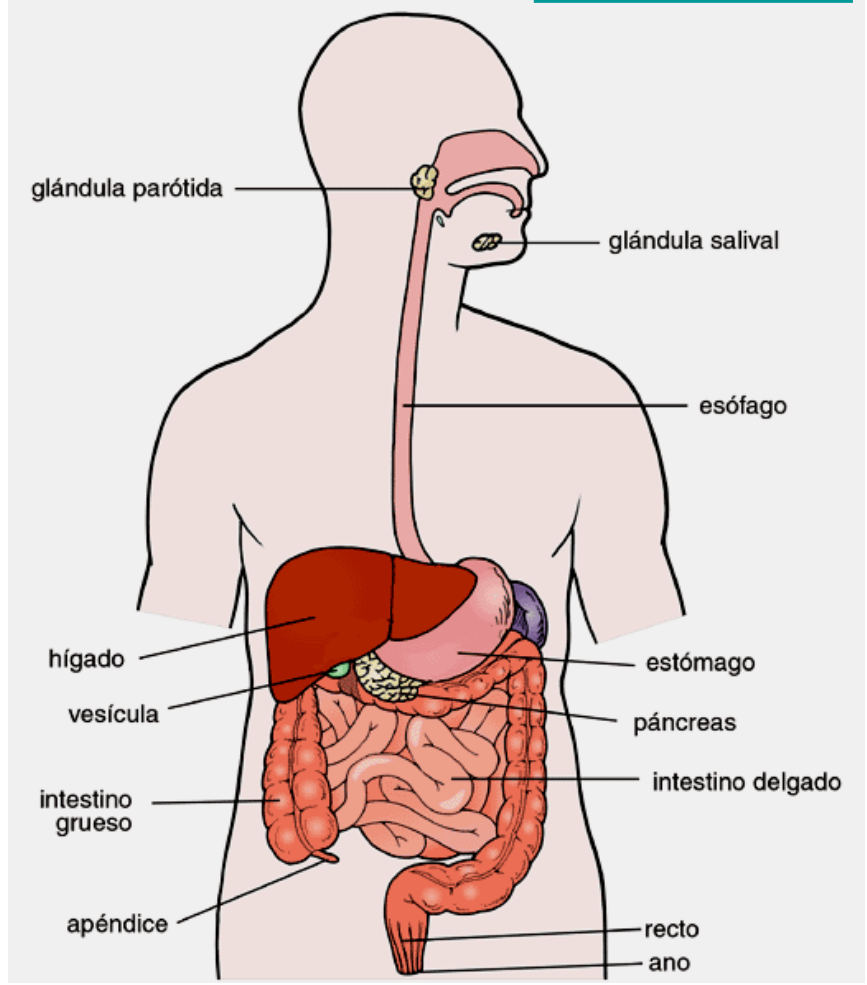
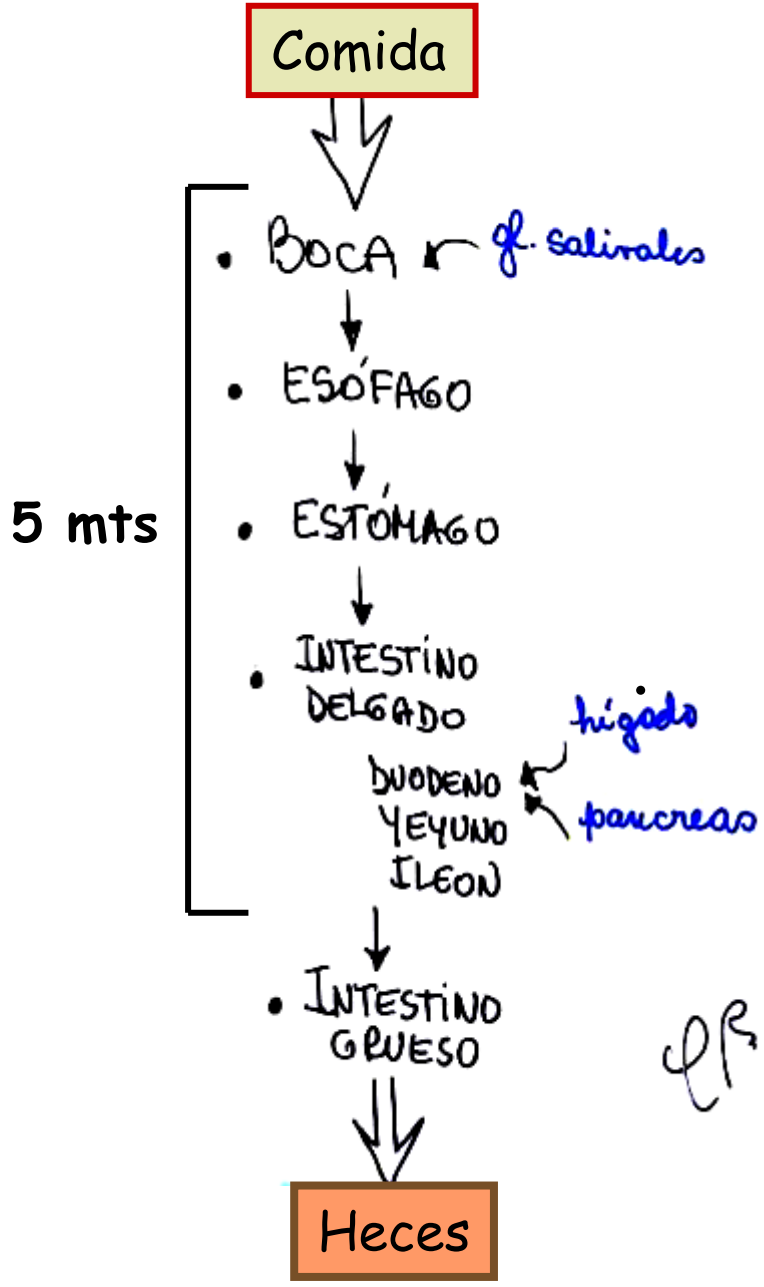
CANAL ALIMENTARIO



TUBO FIBROMUSCULAR

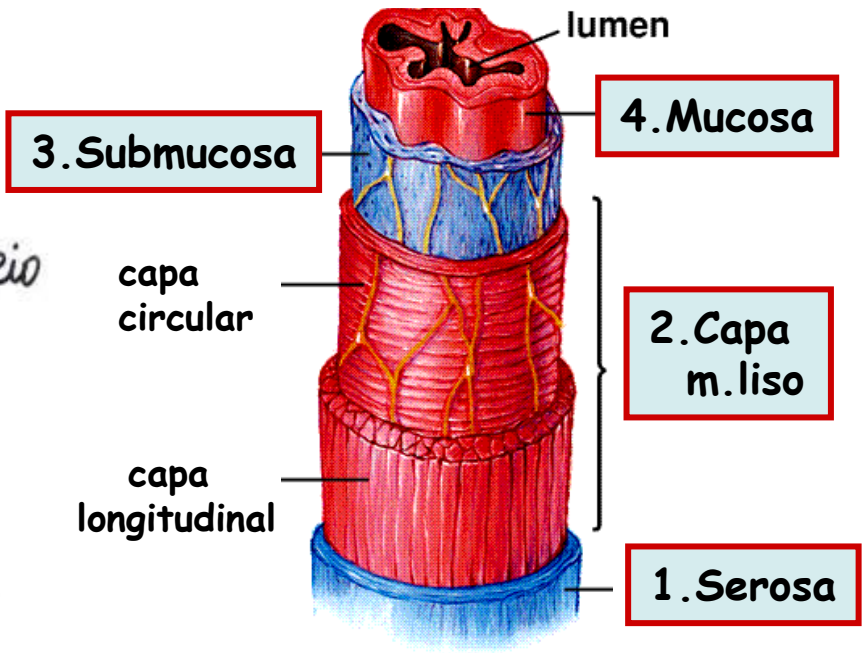
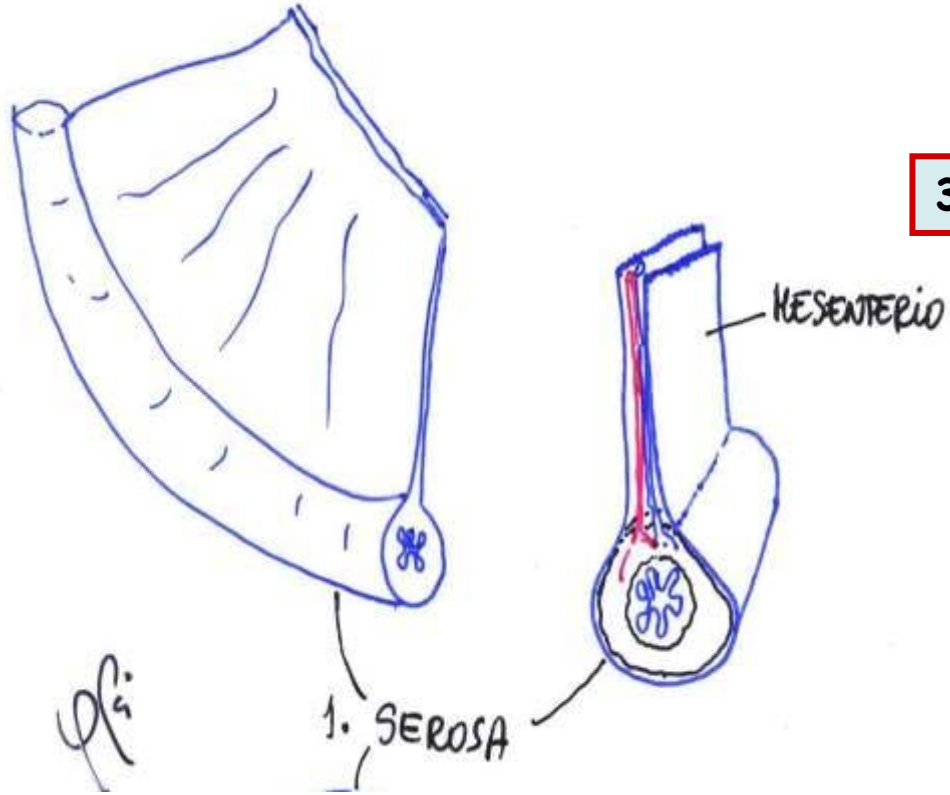
# II MORFOLOGÍA

## 1. PARTES



# II MORFOLOGÍA

## 2. ESTRUCTURA



# II MORFOLOGÍA

## 2. ESTRUCTURA

Serosa o adventicia

estómago

colon transverso

epiplón mayor

mesenterio

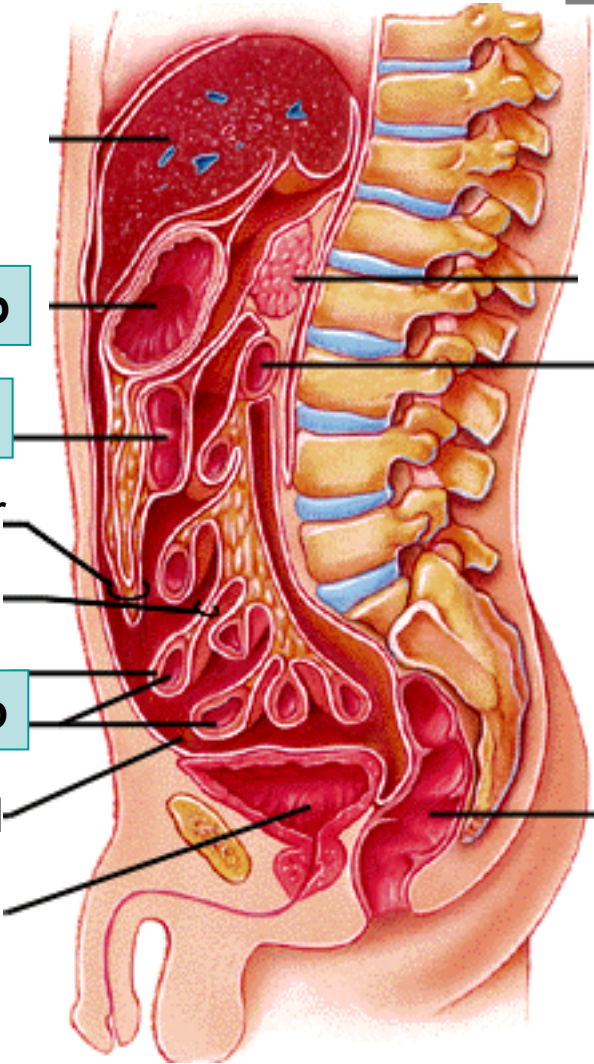
peritoneo

intestino delgado

cavidad peritoneal

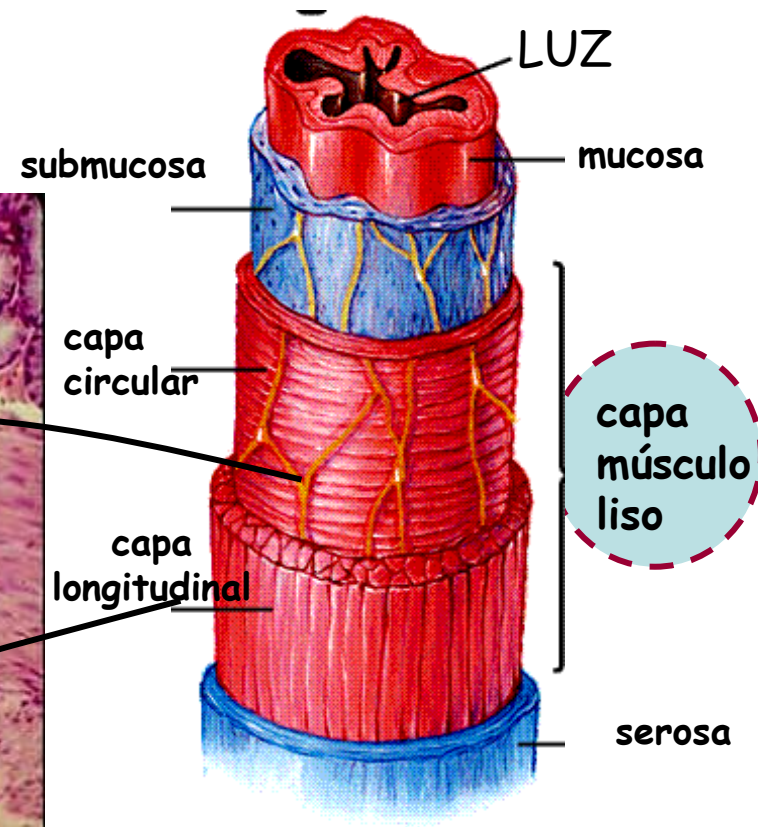
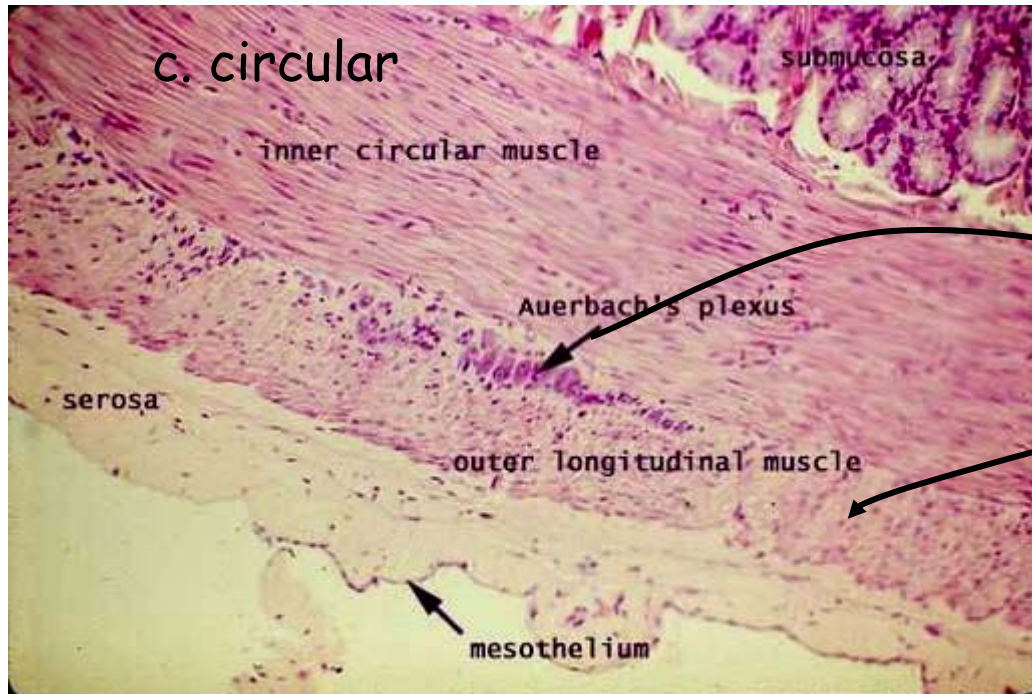
duodeno

recto



# II MORFOLOGÍA

## 2. ESTRUCTURA

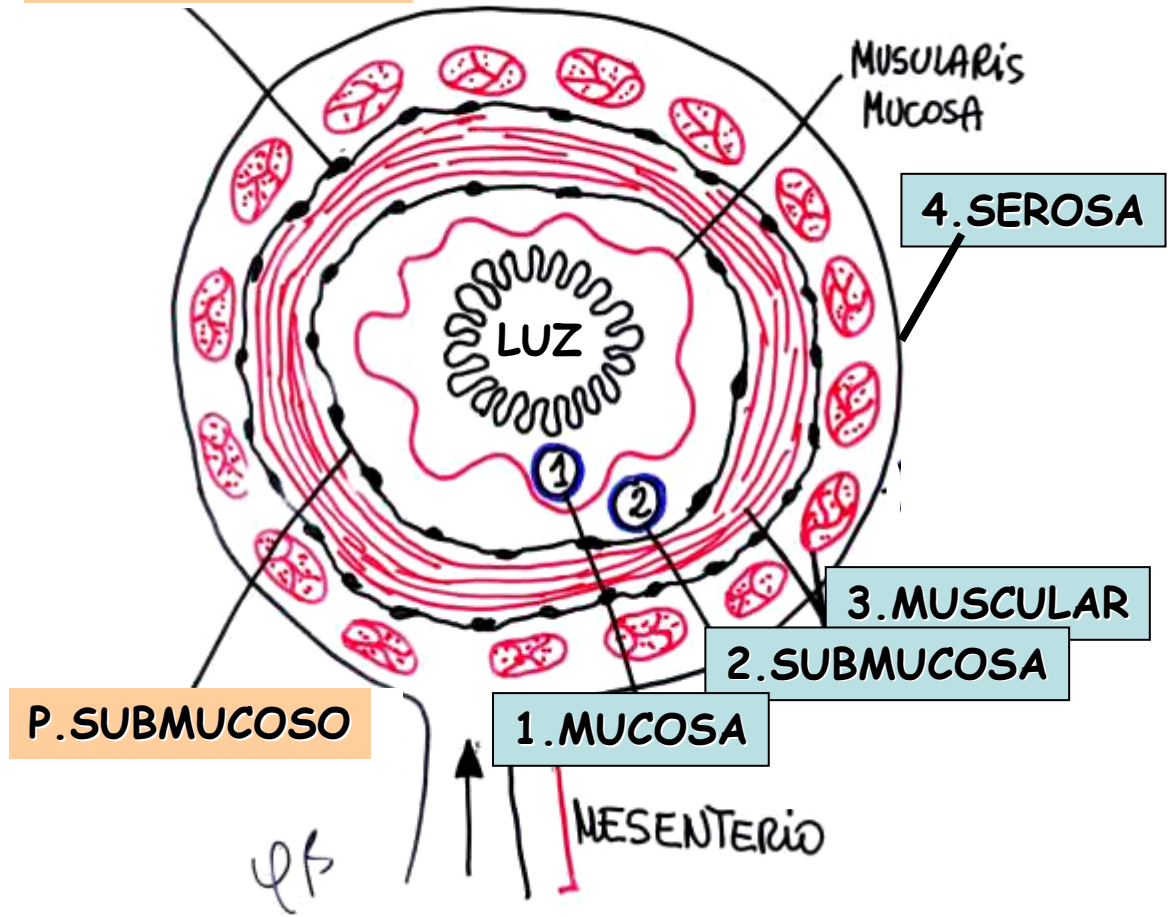




## II MORFOLOGÍA

### 2. ESTRUCTURA

P. MIENTÉRICO



4. SEROSA

3. MUSCULAR

2. SUBMUCOSA

1. MUCOSA

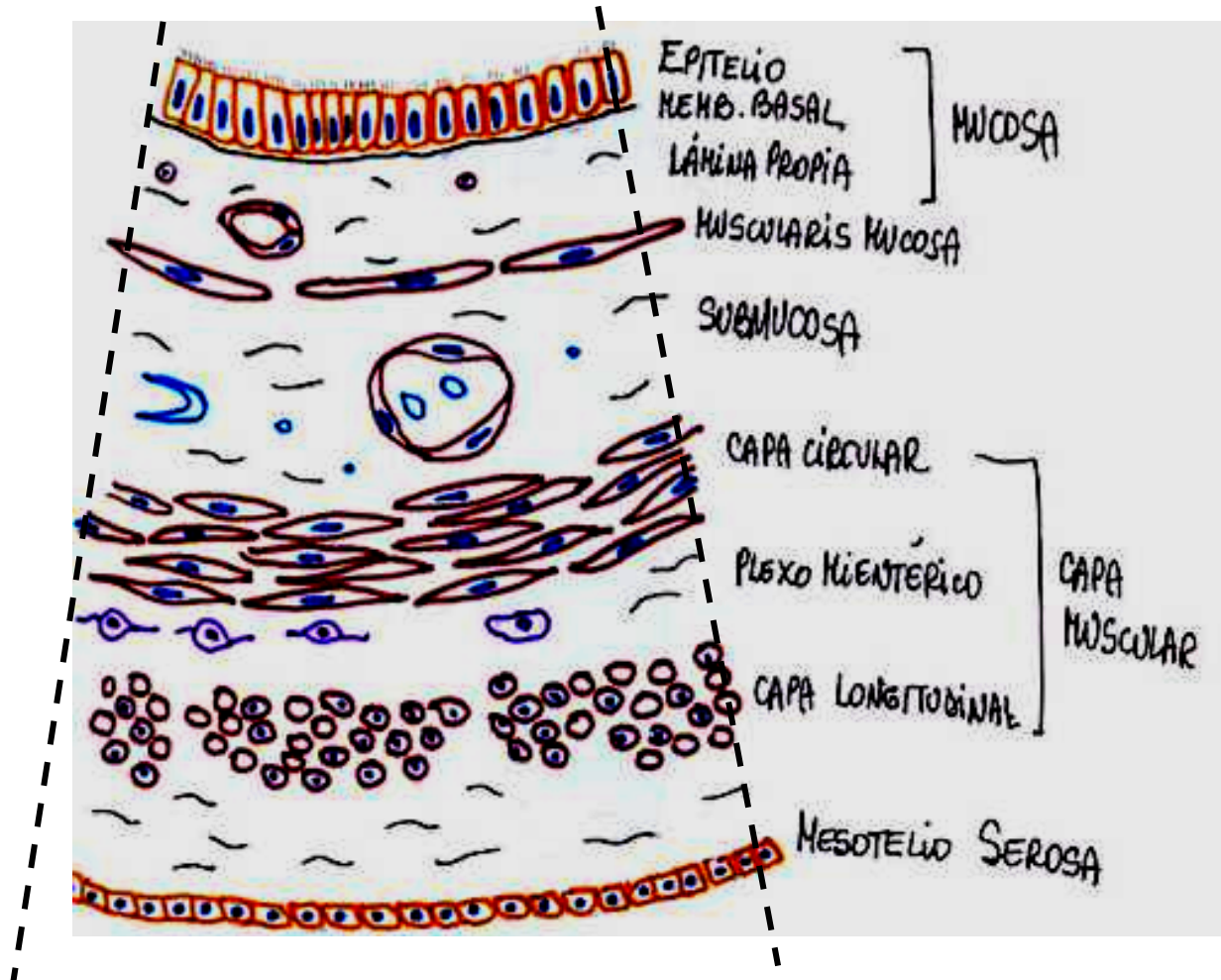
P. SUBMUCOSO

MESENTERIO



# II MORFOLOGÍA

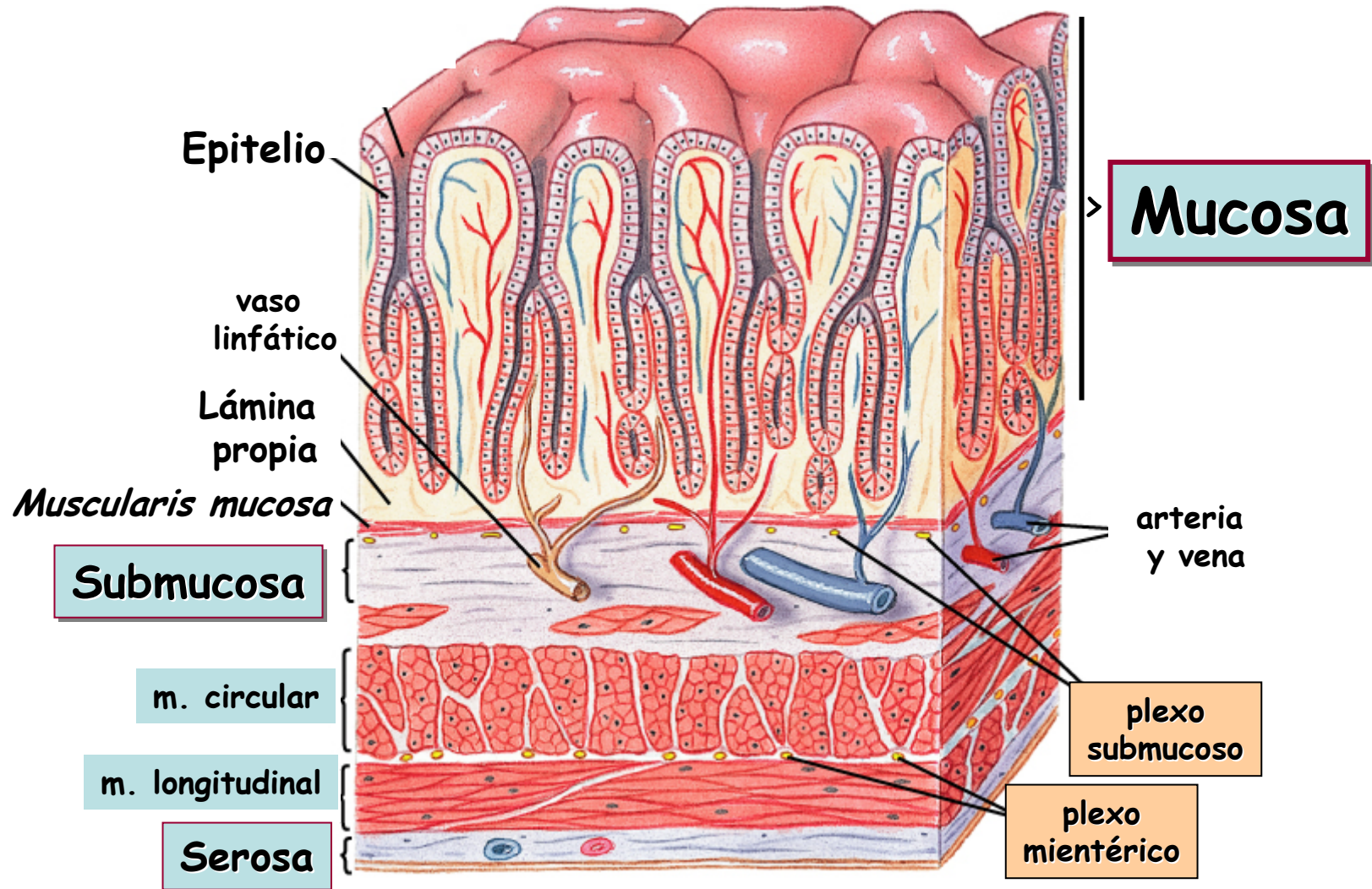
## 2. ESTRUCTURA







2. ESTRUCTURA





## 2. ESTRUCTURA

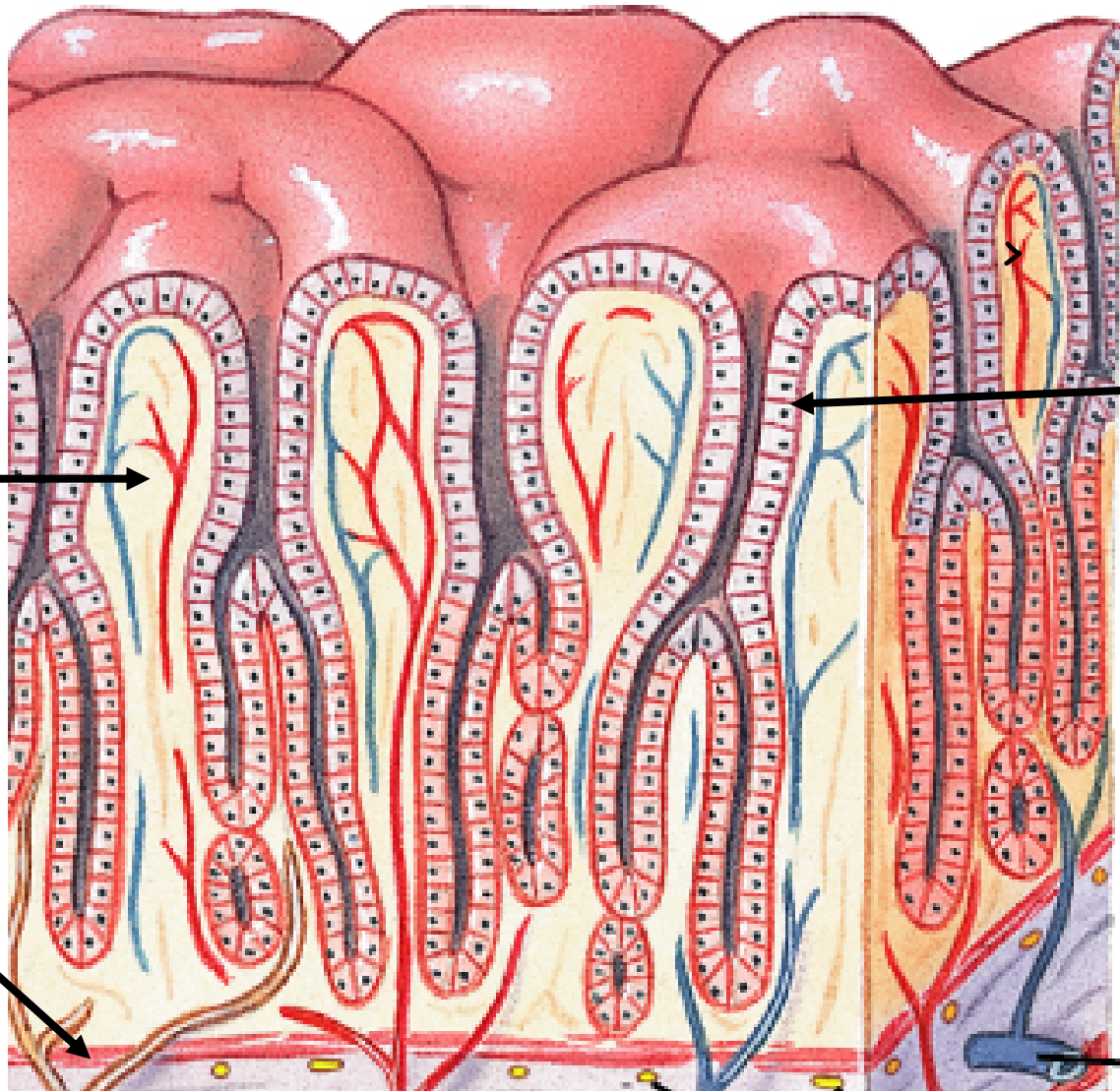
**Mucosa**

**Epitelio**

- Barrera física
- Órgano secreción
- Órgano absorción
- Órgano inmune
- Órgano proliferación, diferenciación

**Lámina propia**

**Muscularis mucosa**



## III. MOTILIDAD

### MÚSCULO LISO VISCERAL

1. Características
2. Vs. Músculo Esquelético
3. Actividad eléctrica
4. Actividad contráctil

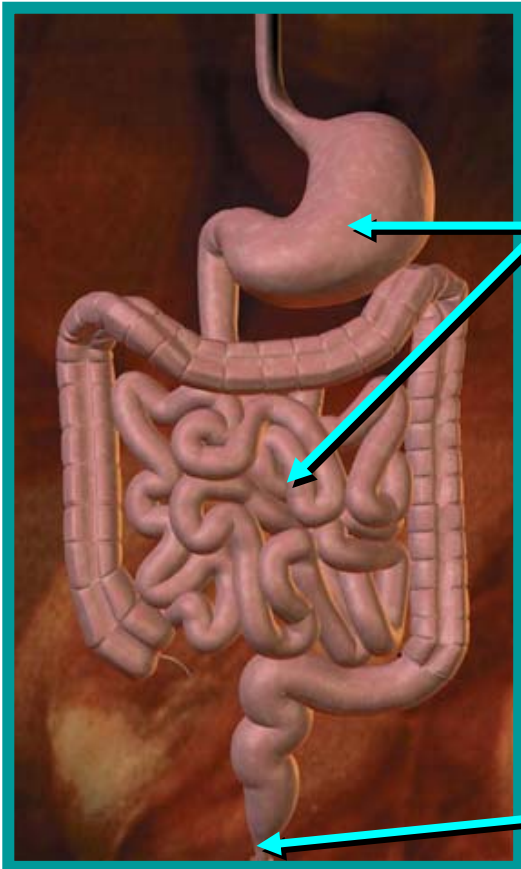
## III. MOTILIDAD



- \* M. esquelético estriado voluntario:  
Faringe, 1/3 superior del esófago  
Esfínter anal externo
- \* M. LISO visceral:  
1/3 inferior esófago a recto
- \* Mixto 1/3 medio del esófago

## III. MOTILIDAD

### M. LISO



Contracciones FÁSICAS  
Periódicas con relajación  
Esófago, antro, intestino delgado

Contracciones TÓNICAS  
Constantes o TONO sin relajación  
Esófago inf., Estómago sup.,  
Esf. anal interno



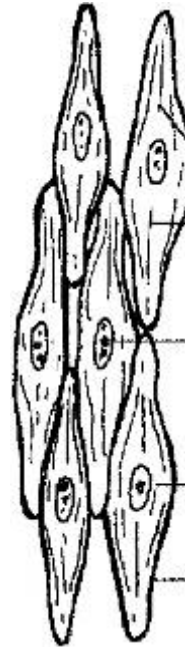
1.



Fibras delgadas y cortas

200-500  $\mu\text{m}$   
 $\times$  2-5  $\mu\text{m}$

2.



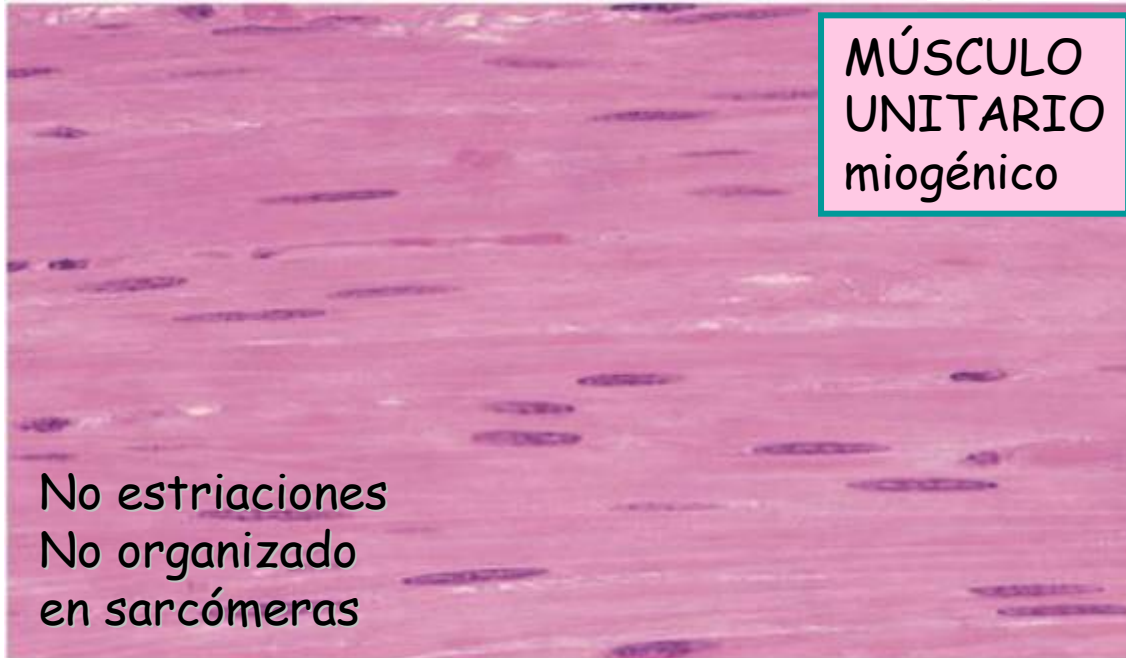
## M. LISO

### 1. Características

*Sincitio*

lat. sin: uno

*Sincitio funcional*



MÚSCULO UNITARIO miogénico

No estriaciones  
No organizado en sarcómeras

Uniones *gap*

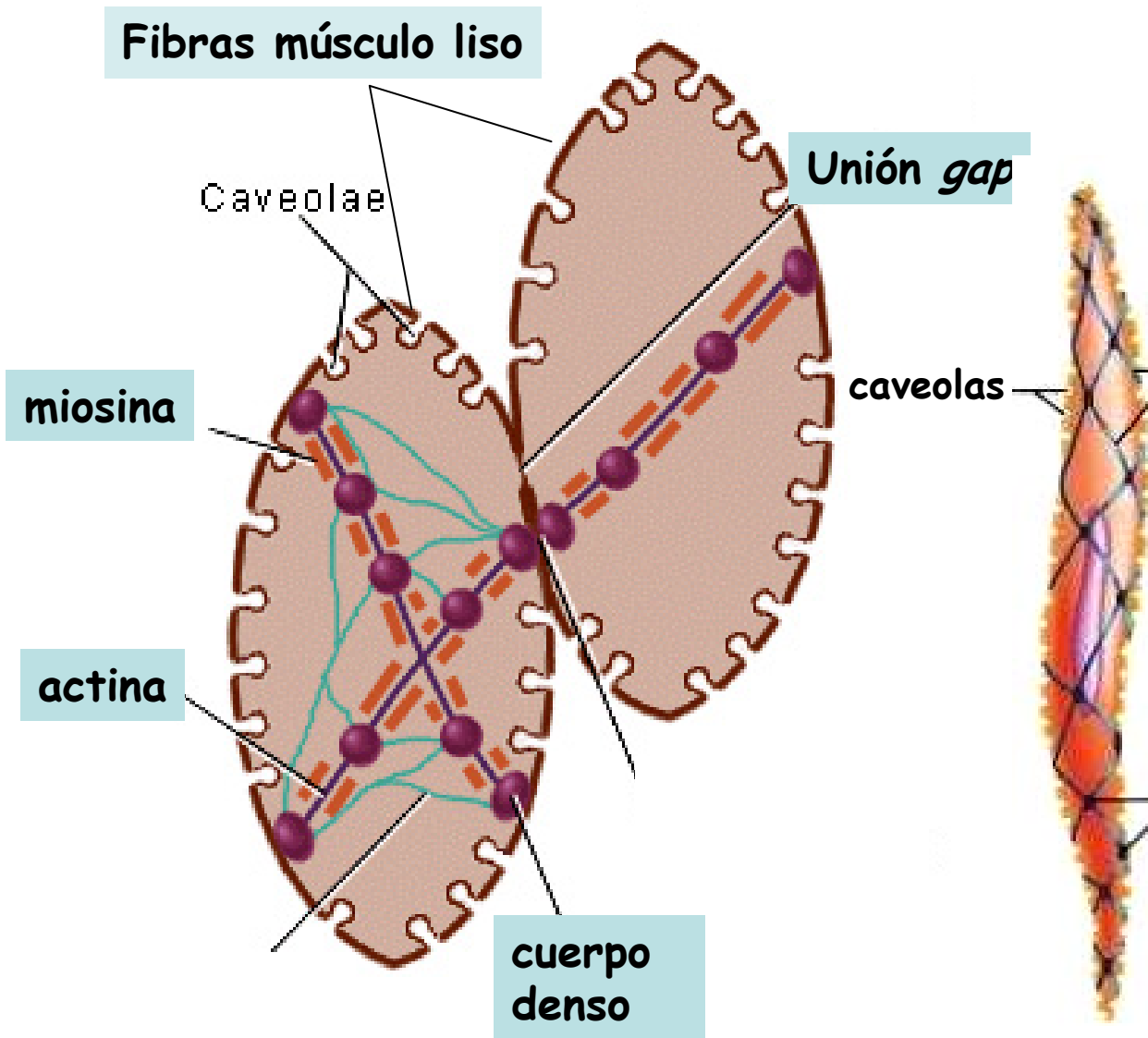
\*Sincronía act. eléctrica

\*Sincronía act. contráctil

### III MOTILIDAD

Músculo Liso

Estructura

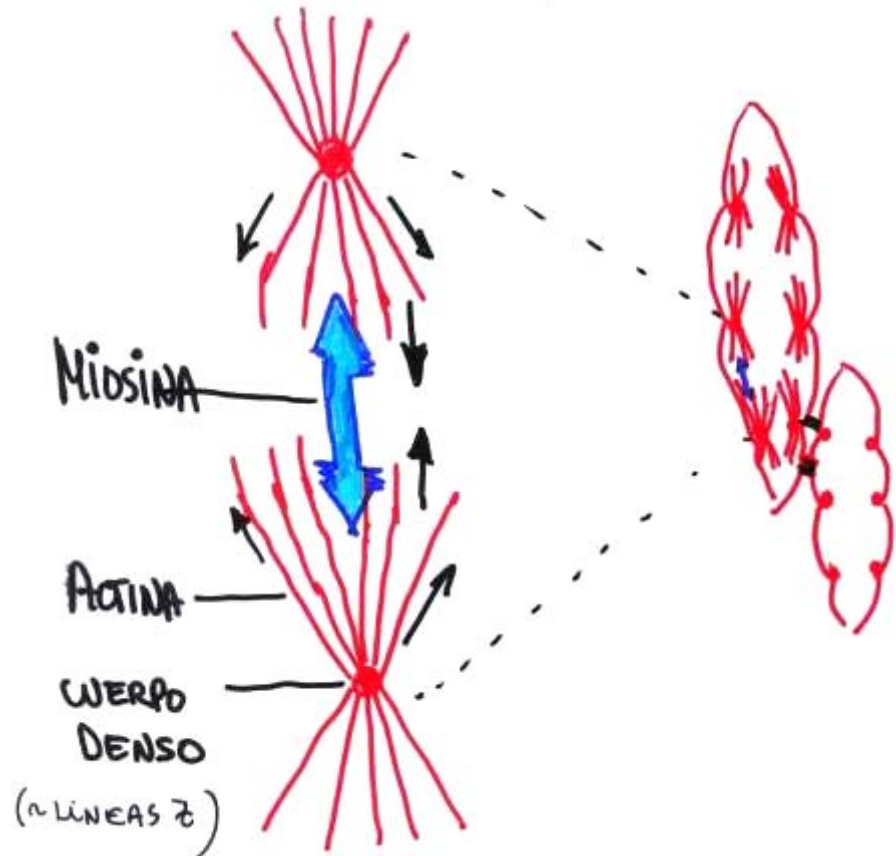


Caveolas: lípidos endocitan sustancias

Más actina  
Menos miosina  
Haces oblicuos

# III MOTILIDAD

## Unidad contráctil



## 1. Características

**80%  
acortamiento**



Fibra relajada

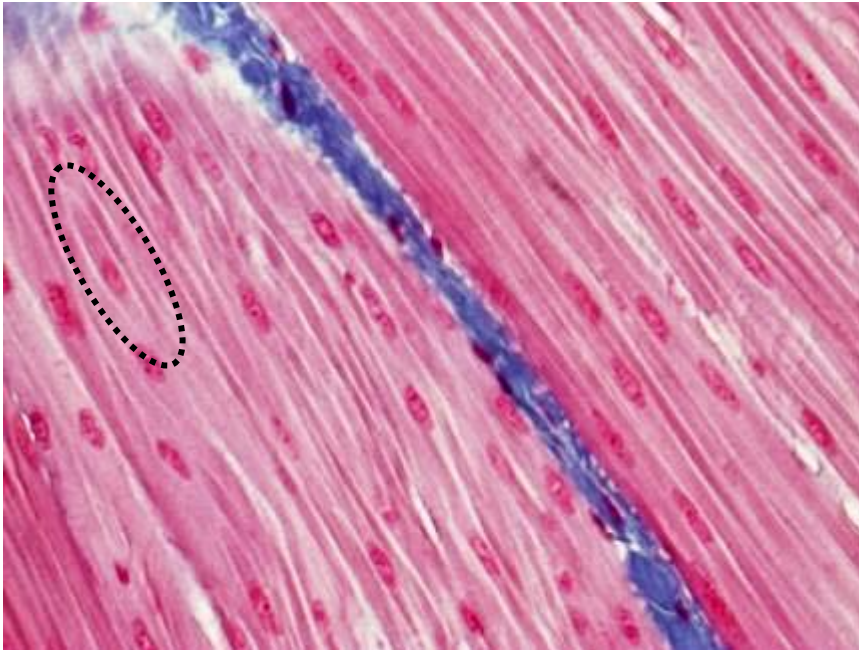


Fibra contraída

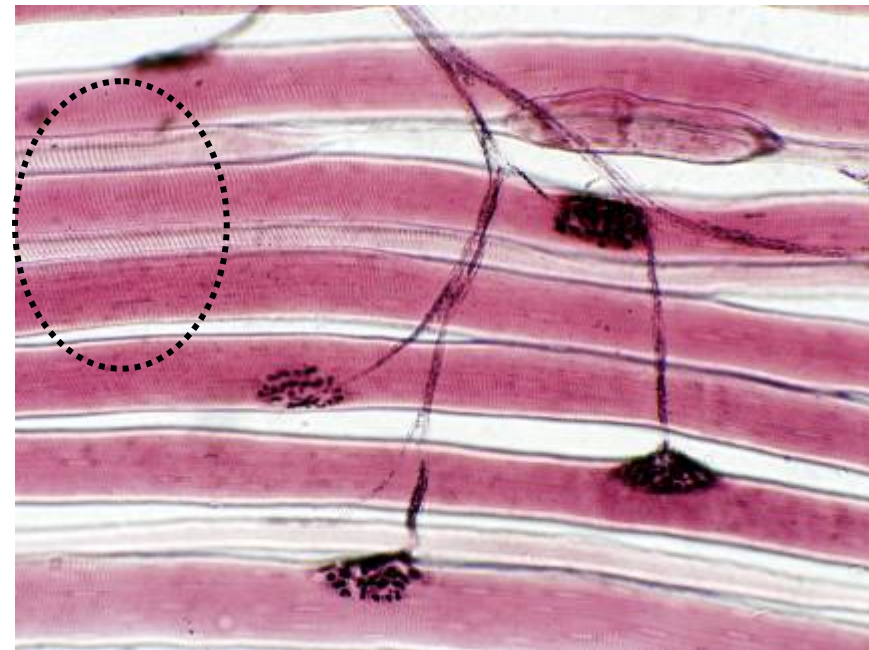


# III MOTILIDAD

## 2. DIFERENCIAS Anatomofuncionales



Músculo liso visceral



Músculo estriado esquelético



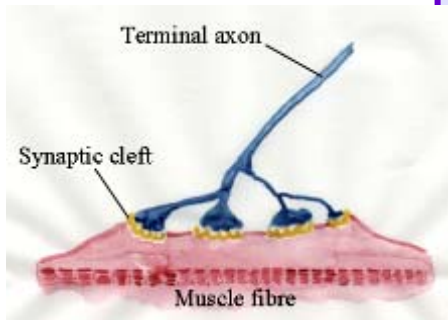
## III MOTILIDAD

### 2. DIFERENCIAS Anatomofuncionales

## M. esquelético

vs.

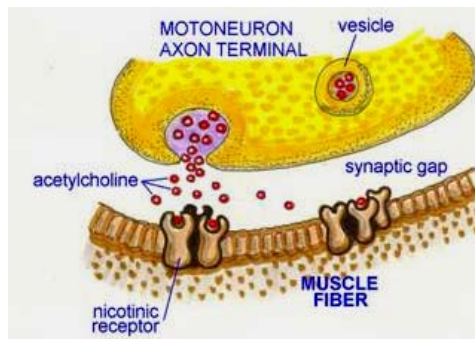
## M. LISO



**Inervación**  
SN somático

**Sinapsis**  
Directa PNM  
ACh R. Nicotínico

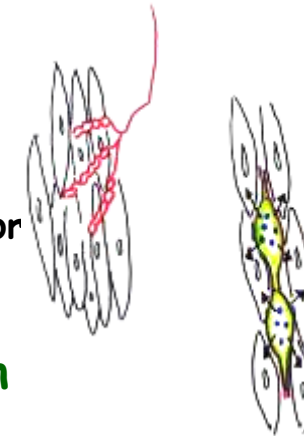
**PA-contracción**  
Muy rápidos

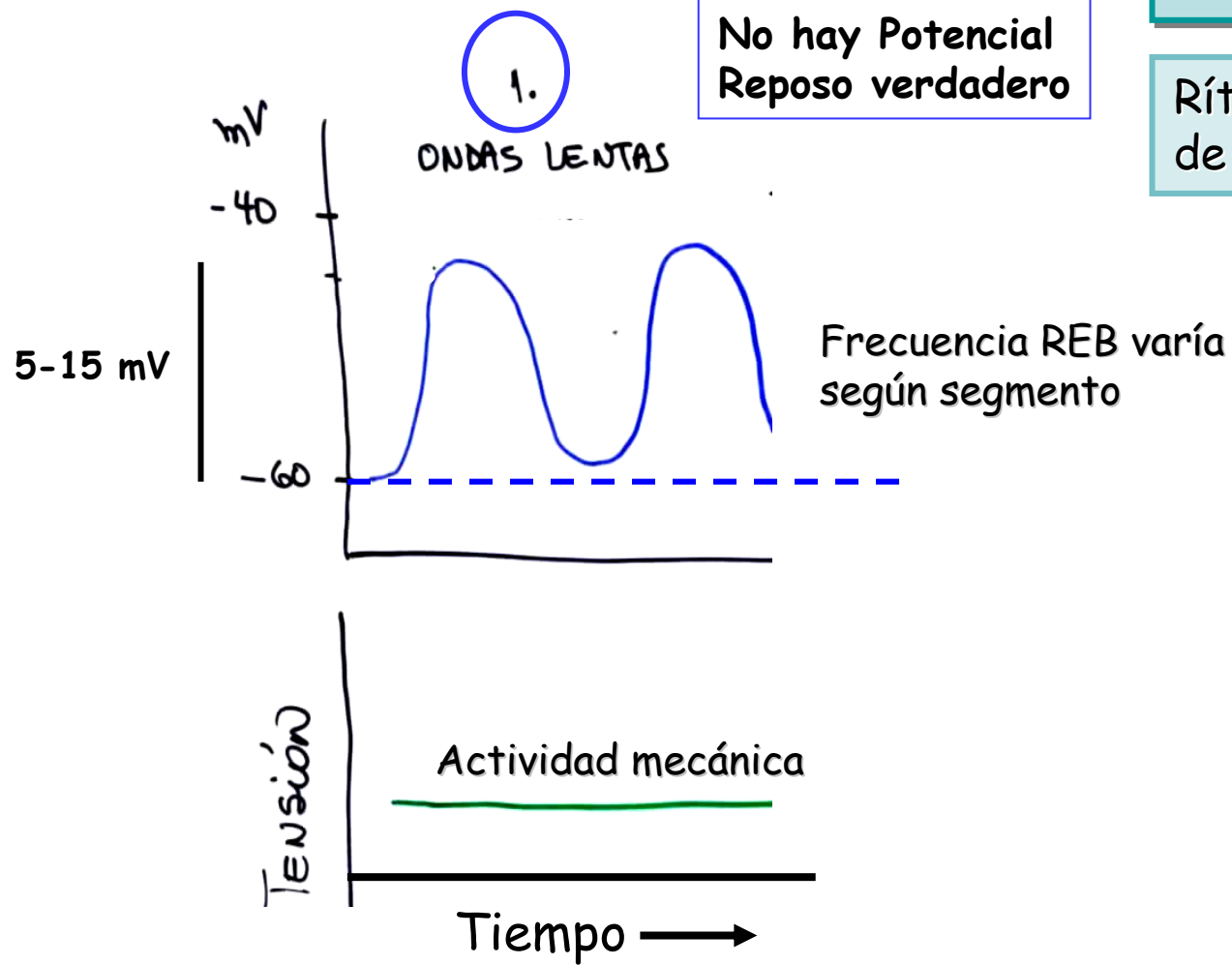


**Inervación**  
No necesita inervación  
extrínseca

**Sinapsis**  
Difusa SNA  
Múltiples transmisores  
Y receptores

**PA-contracción**  
Actividad eléctrica  
y contráctil lentas





### 3. ACTIVIDAD ELÉCTRICA

Rítmico eléctrico de base (REB)



### 3. ACTIVIDAD ELÉCTRICA

## Ondas lentas o REB

1. **No depende de estímulo externo**  
Apertura cíclica de canales de  $\text{Ca}^{++}$
2. **No desencadena PA**  
excepto **Células Marcapasos**
3. **Origen:**  
**Células Intersticiales de Cajal**  
en plexos mientéricos y músculo liso

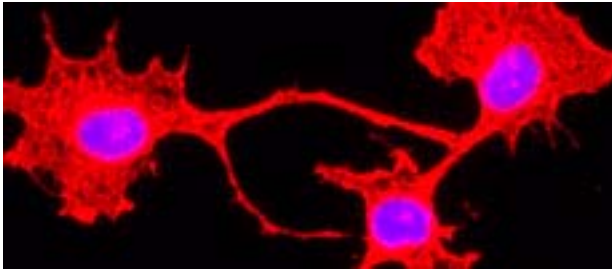


Entrada de calcio  
Despolarización

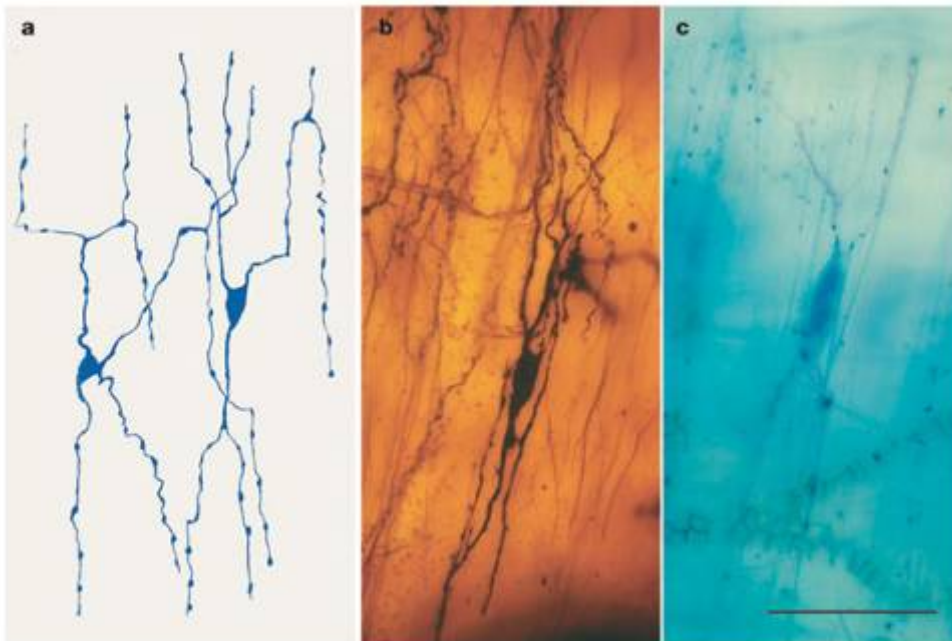
Salida de potasio  
Repolarización

## MARCAPASOS

Frec. REB en cada segmento



C. Intersticiales  
de Cajal  
Plexos mientéricos



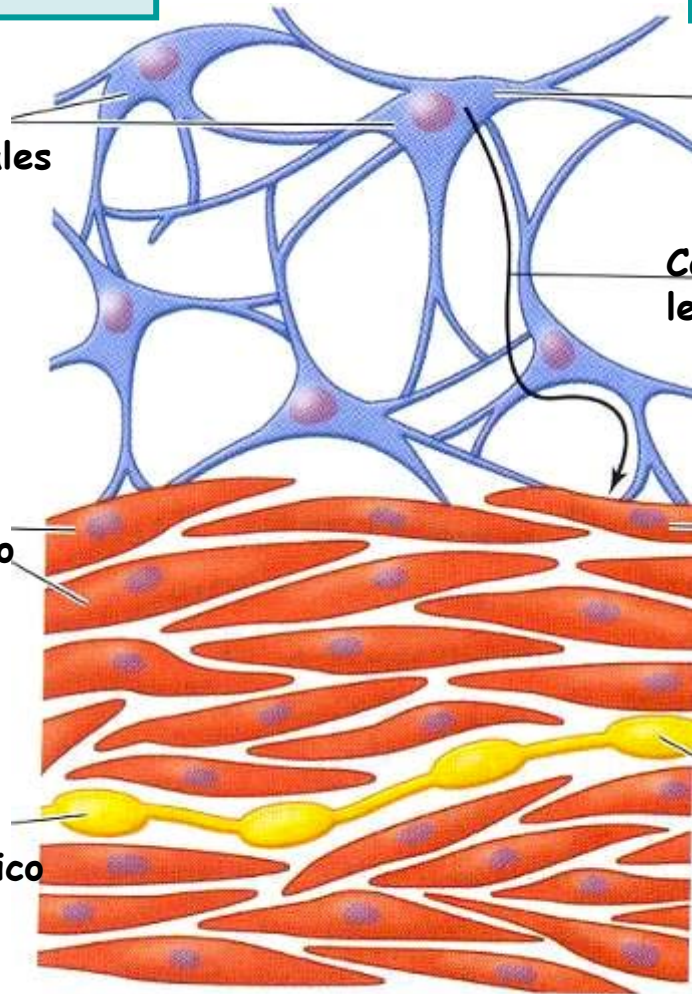
Copyright © 2005 Nature Publishing Group  
Nature Reviews | Cancer

## Estructuras

Células intersticiales de Cajal

Fibras músculo liso

Axón autonómico



## Funciones

Producción de ondas lentas

Conducción de ondas lentas al músculo liso

Despolarización y apertura de canales de  $Ca^{++}$ , producción potenciales de acción en marcapasos

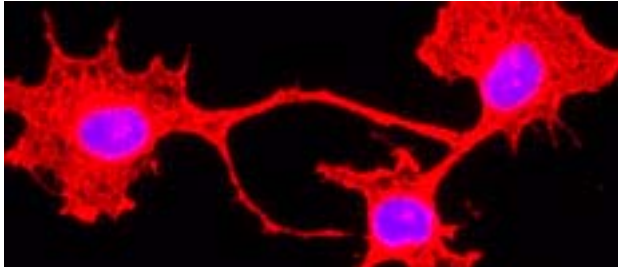
Entrada autonómica neural a c. Cajal y m. liso, modifica actividad intrínseca de c. Cajal y m. liso

## Generación de ondas lentas

Frecuencia ondas lentas menor (en segundos) que marcapaso en corazón

S.I. Fox *Human Physiology* 2008

## MARCAPASOS



Células  
Intersticiales  
de Cajal CIC

- CIC dirige frecuencia REB que determina frecuencia PA y contracción
- Oscilaciones entrada salida  $\text{Ca}^{++}$  oscilaciones Vm en miocitos Su frecuencia y altura dan frecuencia y fuerza de contracción
- Mediador: monóxido de carbono (CO) señal regulada para controlar excitabilidad de m. liso!!

¡Descubrimiento  
*Serendipitoso!*

<http://discoveryedge.mayo.edu/de07-2-digestive-szur/>



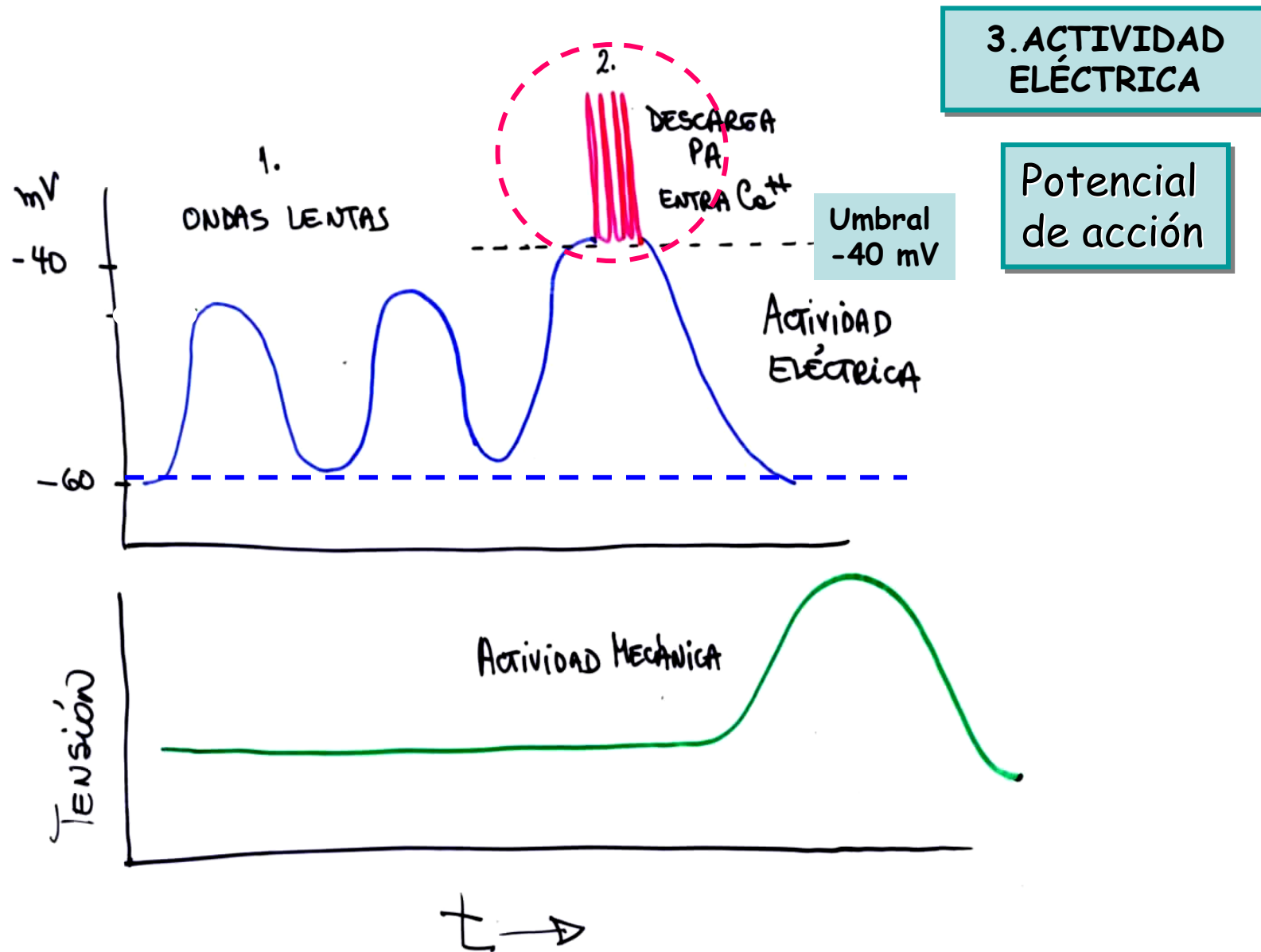
### 3. ACTIVIDAD ELÉCTRICA

Rítmico eléctrico  
de base (REB)

La actividad de REB no produce PA ni contracción,  
excepto en células marcapasos

Tienen que ocurrir otras "cosas" que hagan  
llegar la despolarización al umbral

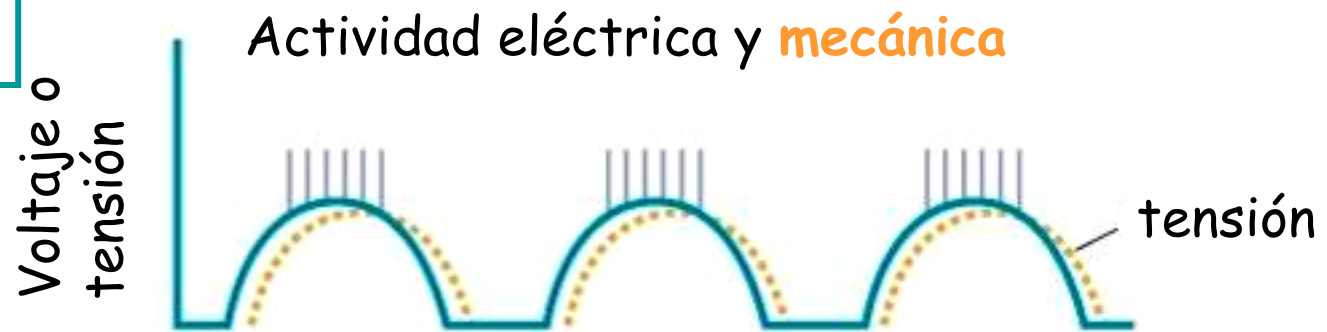
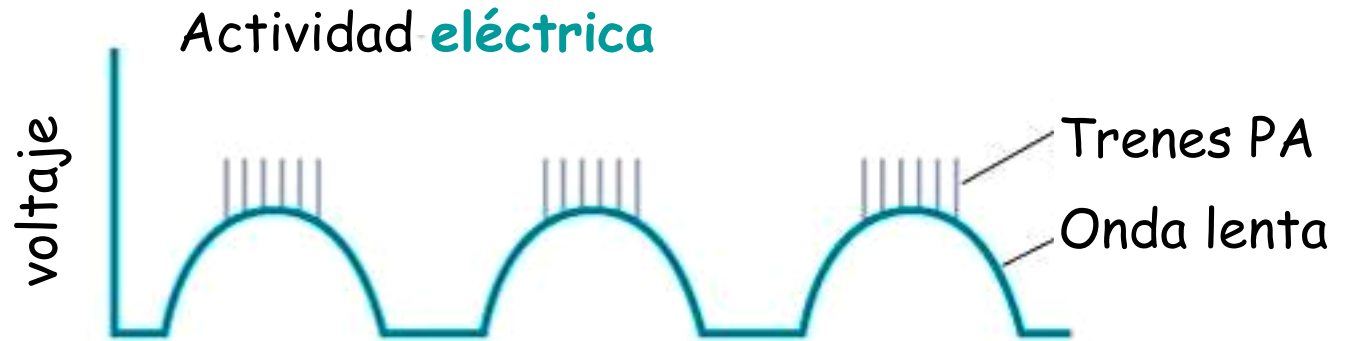




### 3. ACTIVIDAD ELÉCTRICA



Frec. REB  
↓  
Frec. PA  
↓  
Frec. Contracción

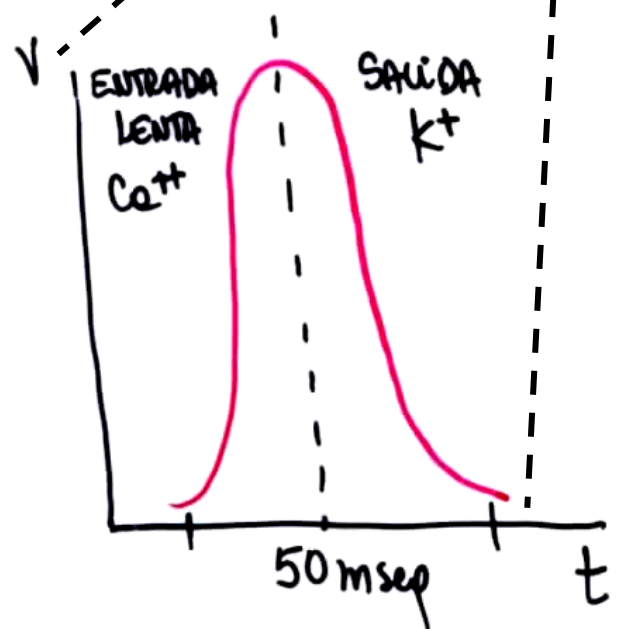
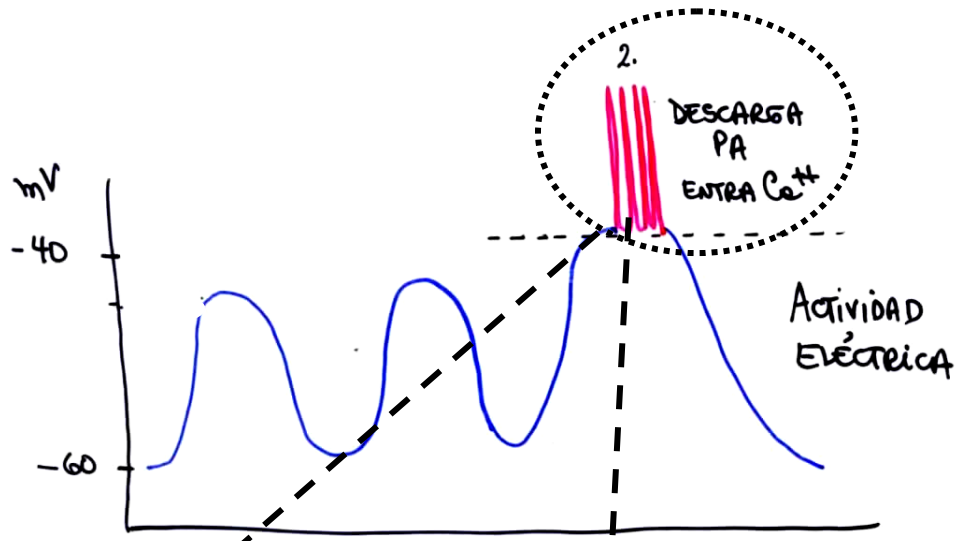


© Elsevier. Costanzo: Physiology 3E [www.studentconsult.com](http://www.studentconsult.com)



### 3. ACTIVIDAD ELÉCTRICA

Potencial de acción



Entrada LENTA  $Ca^{++}$   
Salida de  $K^+$   
Larga duración



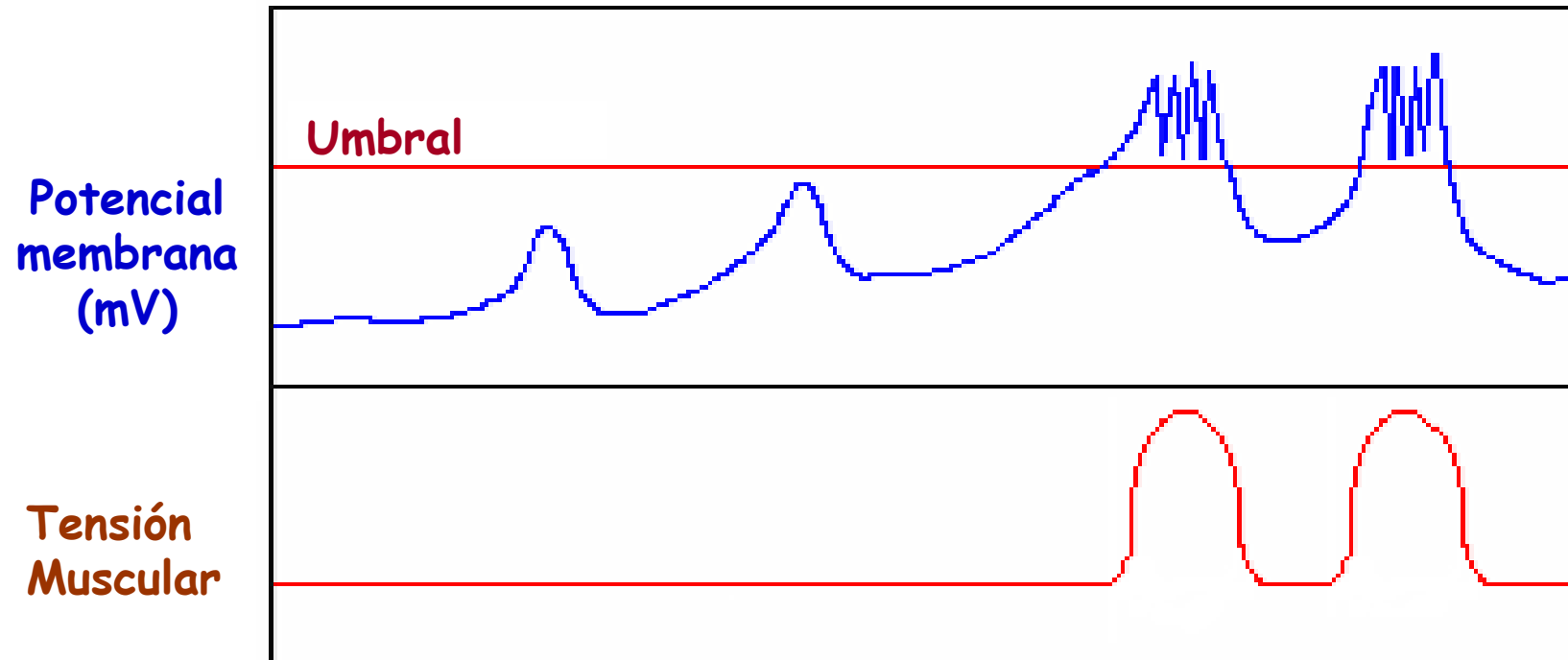
### 3. ACTIVIDAD ELÉCTRICA

## Potencial de Acción

1. Umbral: -40 mV
2. A mayor despolarización, mayor frecuencia de descarga de PA
3. PA mayor duración  
despolarización: entrada lenta de  $Ca^{++}$   
repolarización: salida de  $K^+$   
duración 10 a 50 mseg
4. Mayor latencia entre PA y contracción  
300 mseg
5. Ocurre por:  
marcapasos  
estiramiento  
estimulación parasimpática  
hormonas y NT

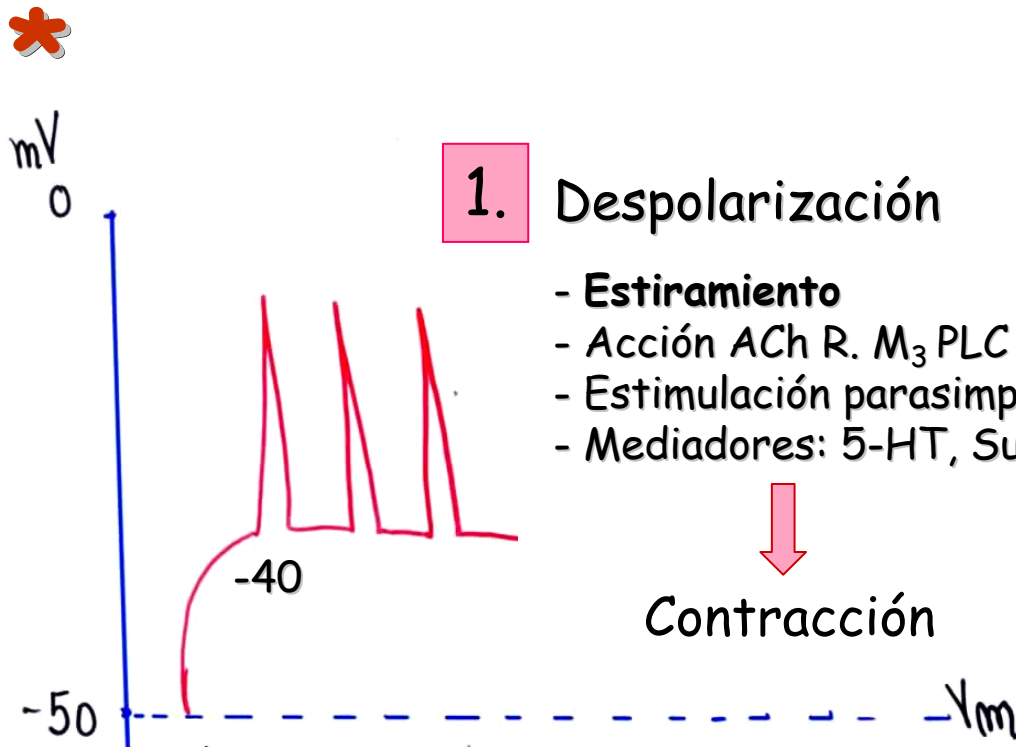
# III MOTILIDAD

## 3. ACTIVIDAD ELÉCTRICA



### 3. ACTIVIDAD ELÉCTRICA

Factores que afectan



#### 1. Despolarización

- Estiramiento
- Acción ACh R.  $M_3$  PLC
- Estimulación parasimpática (X par)
- Mediadores: 5-HT, Sust. P.

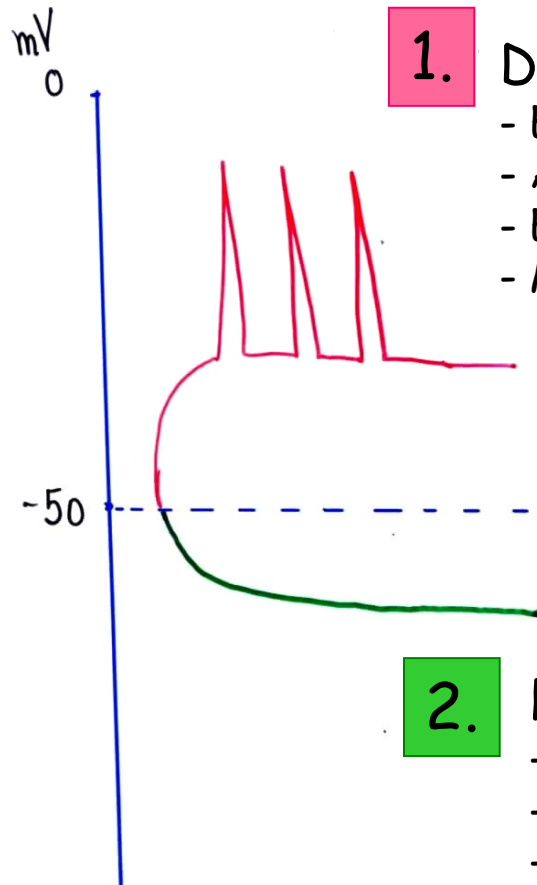


Contracción

- Locales
- Autonómicos
- Humorales



### 3. ACTIVIDAD ELÉCTRICA Factores que afectan



#### 1. Despolarización

- Estiramiento
- Acción ACh R.  $M_3$  PLC
- Estimulación parasimpática (X par)
- Mediadores: 5-HT Sust. P.



Contracción

- Locales
- Autonómicos
- Humorales

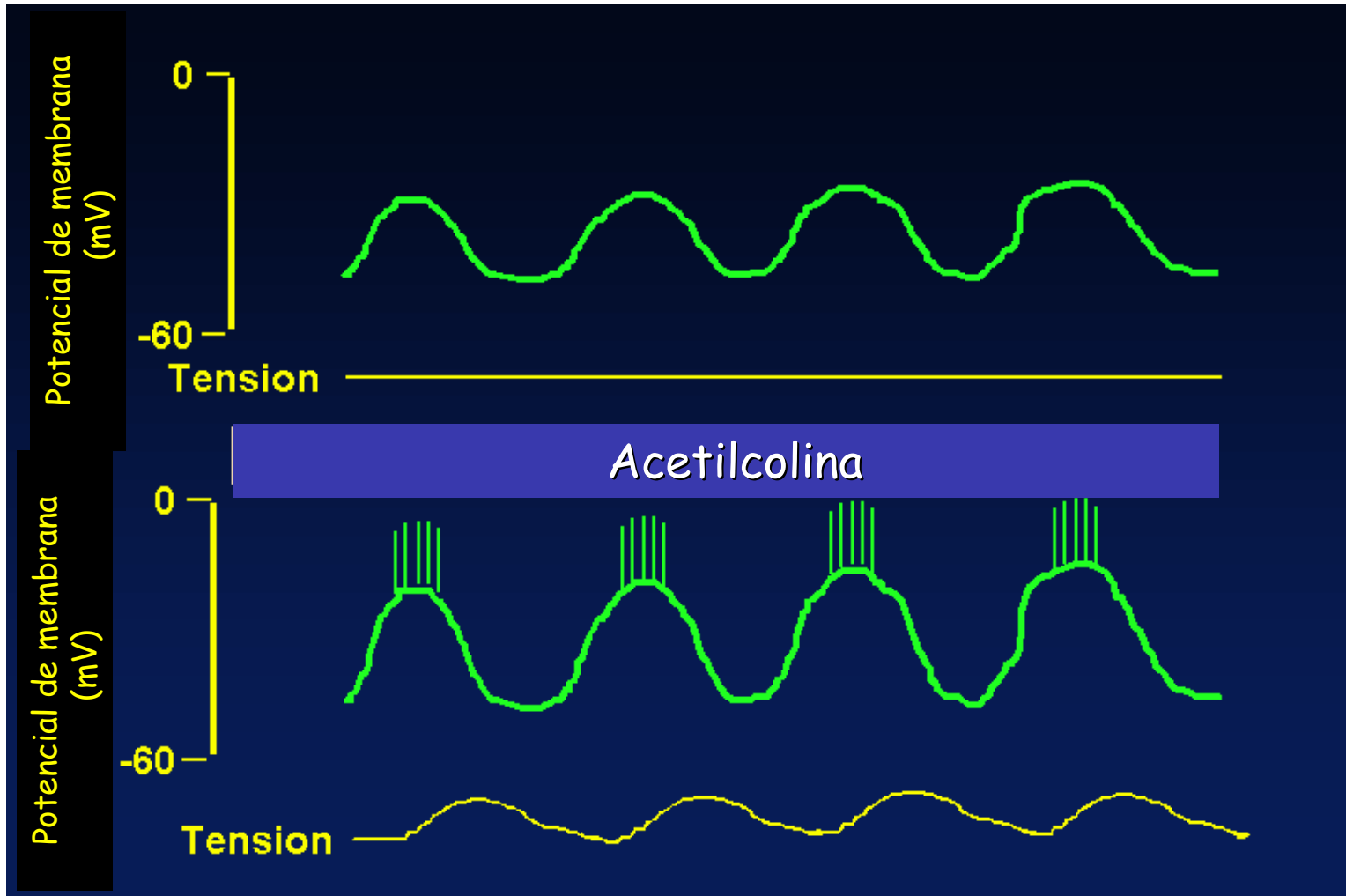
#### 2. Hiperpolarización

- Acción NE R.  $\alpha_2$ , AC disminución  $Ca^{++}$
- Estimulación simpática
- Mediadores: SIH, NT, ENK, GLP1



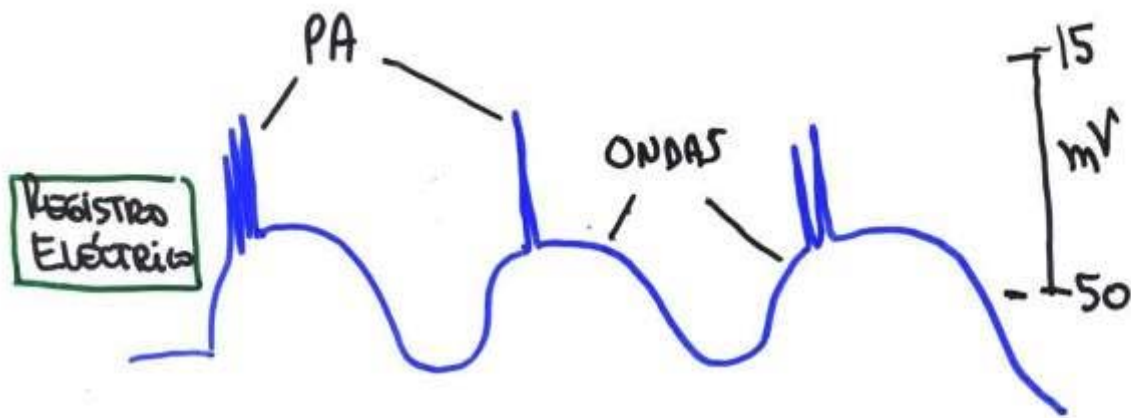
Relajación

### 3. ACTIVIDAD ELÉCTRICA

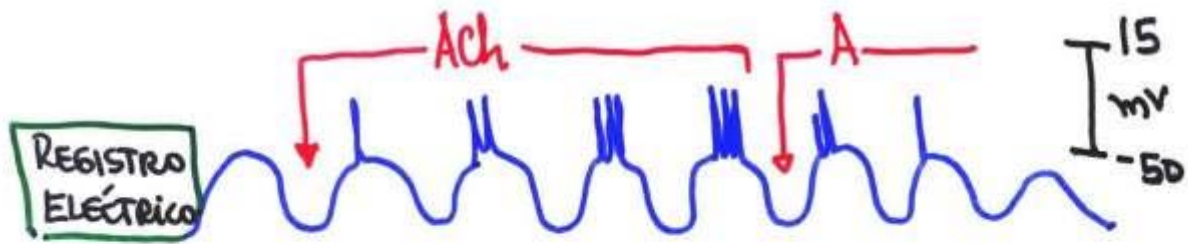
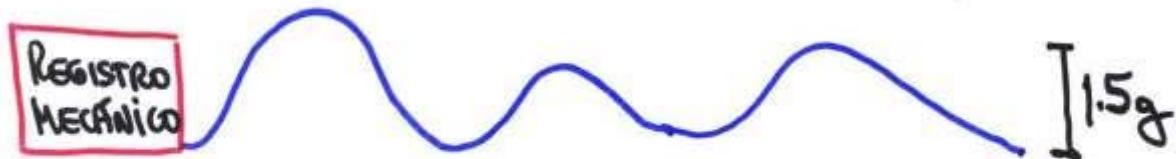




# III MOTILIDAD



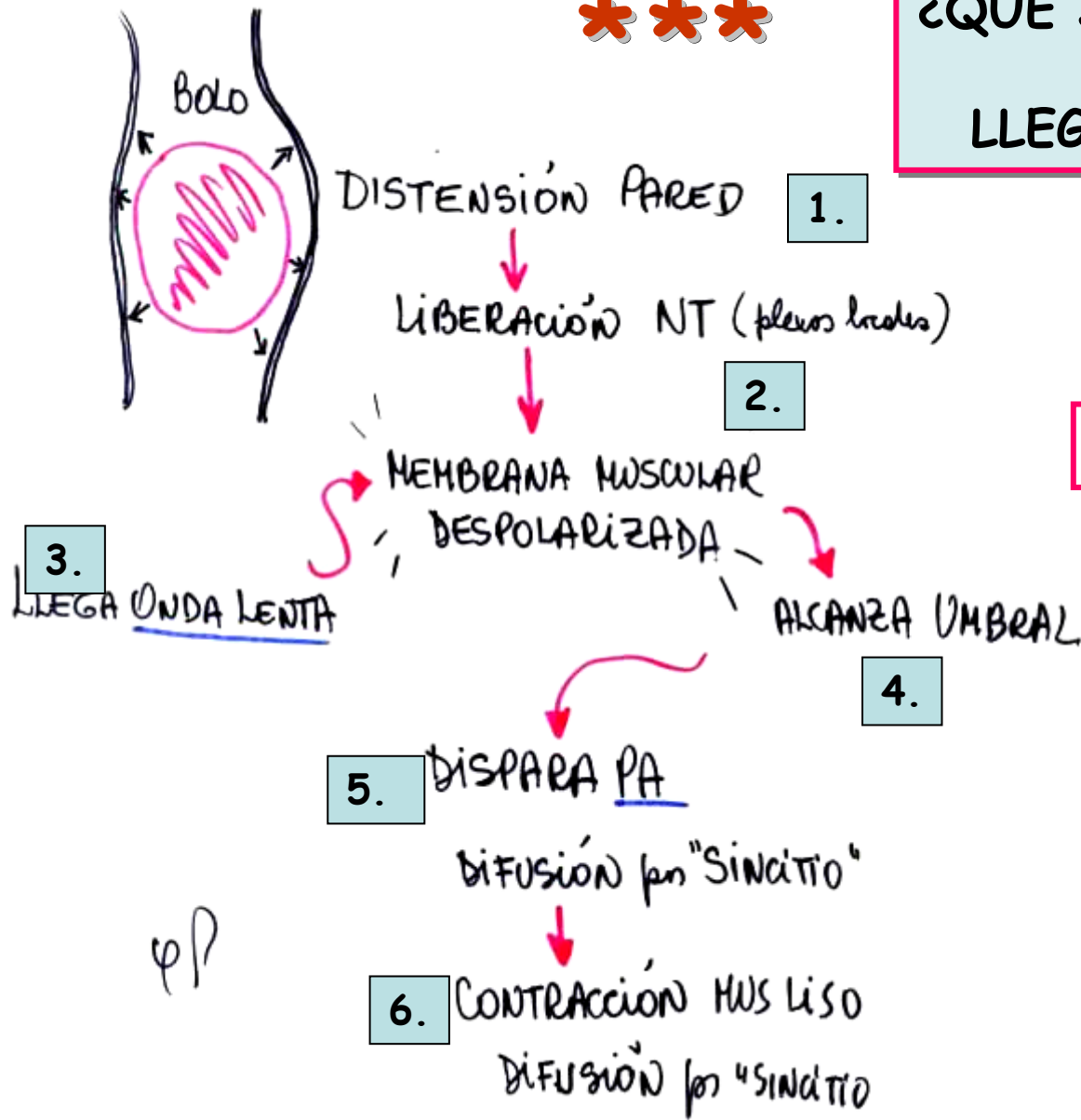
ACTIVIDAD ELÉCTRICA y CONTRÁCTIL



Acción SNA



¿QUÉ SUCEDE CUANDO EL BOLO LLEGA AL TUBO GI?



ESTIRAMIENTO



CONTRACCIÓN

pp



## 4. ACTIVIDAD CONTRÁCTIL

### Contracción músculo unitario

- **Marcapaso espontánea**  
REB que alcanzan PA y contracción
- **Estimulación -Estiramiento-**  
Reflejo Local peristáltico
- **Respuestas a agentes químicos**  
Contracción o relajación



MUCHOS MENSAJEROS



MUCHOS RECEPTORES  
EN EL MÚSCULO LISO



ESTIMULACIÓN - INHIBICIÓN



ACTIVIDAD CONTRÁCTIL  
SIN PA PREVIO  
(50%)!!

4. ACTIVIDAD  
CONTRÁCTIL

No se necesita:

- Ni inervación extrínseca
- Ni PA!!

Para que se contraiga el  
músculo liso tubo GI



#### 4. ACTIVIDAD CONTRÁCTIL

##### **Músculo liso FÁSICO**

PA por apertura canales  $Ca^{++}$  voltaje dependientes

Contrae y relaja rápido

Contracciones fuertes y rápidas

M. avance

##### **Músculo liso TÓNICO**

Contracciones continuas

No generan PA

Contrae y relaja lento

Contracciones débiles y duraderas

Esfínteres



#### 4. ACTIVIDAD CONTRÁCTIL

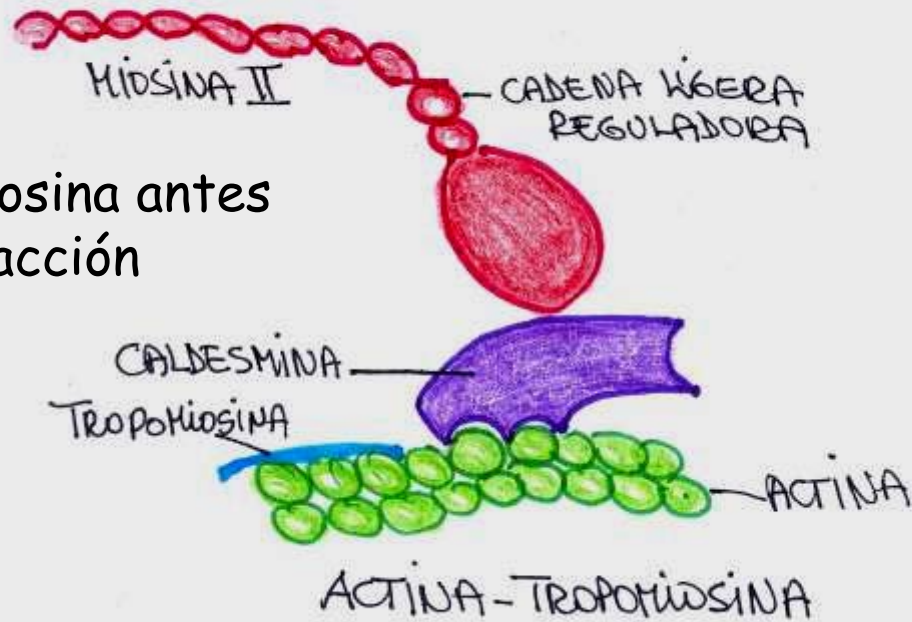
Músculo liso visceral tiene  
Act. ELÉCTRICA  
Act. CONTRÁCTIL  
casi continuas  
que permite contracción sostenida:  
TONO muscular

Fibra músculo liso en reposo

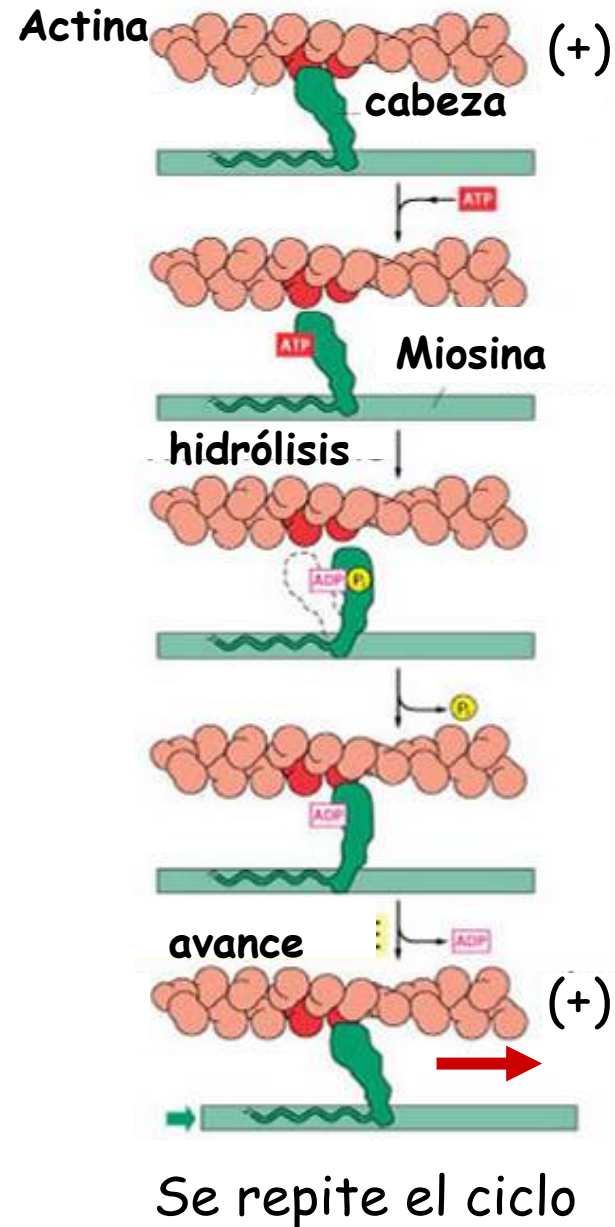
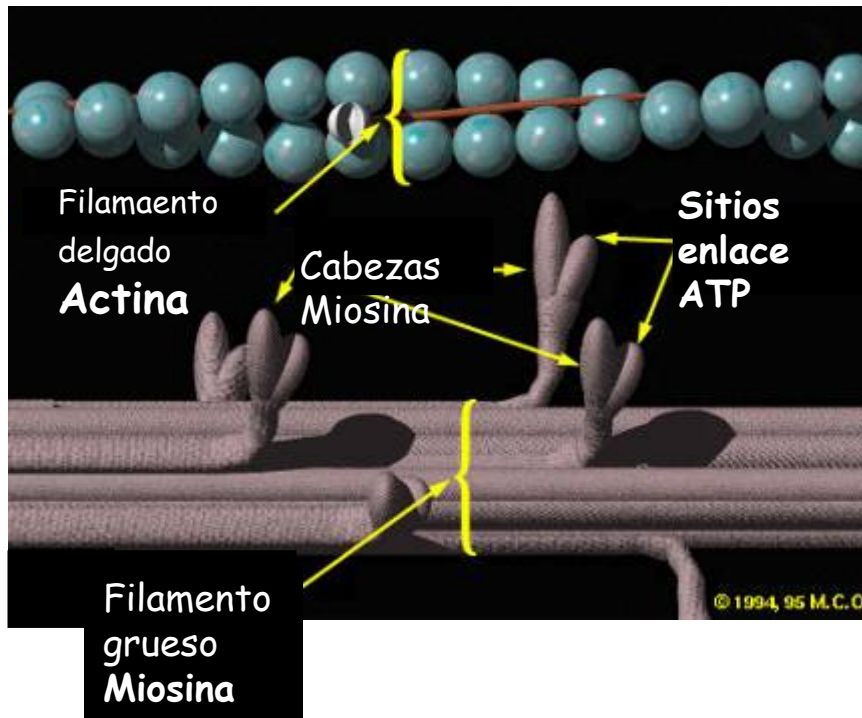
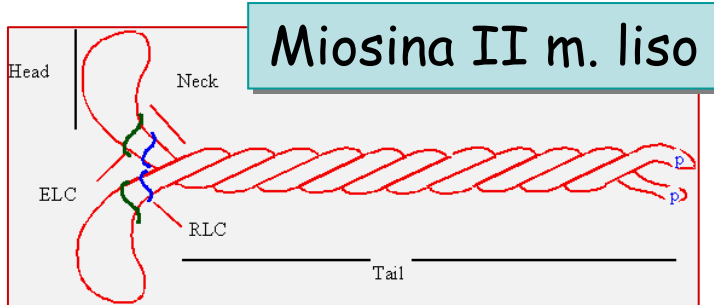


4. ACTIVIDAD CONTRÁCTIL

Actina y miosina antes de la contracción

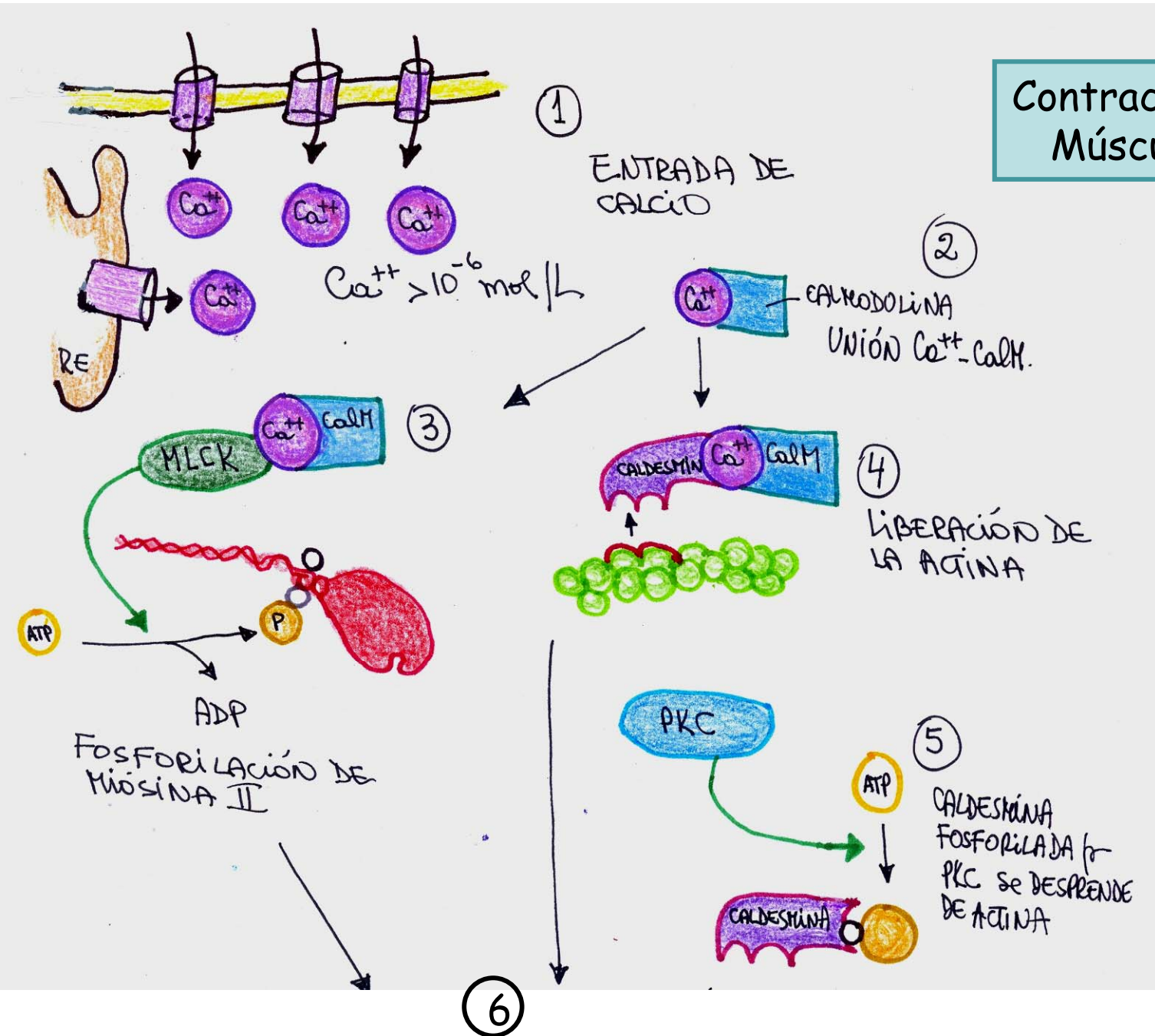


# 4. ACTIVIDAD CONTRÁCTIL

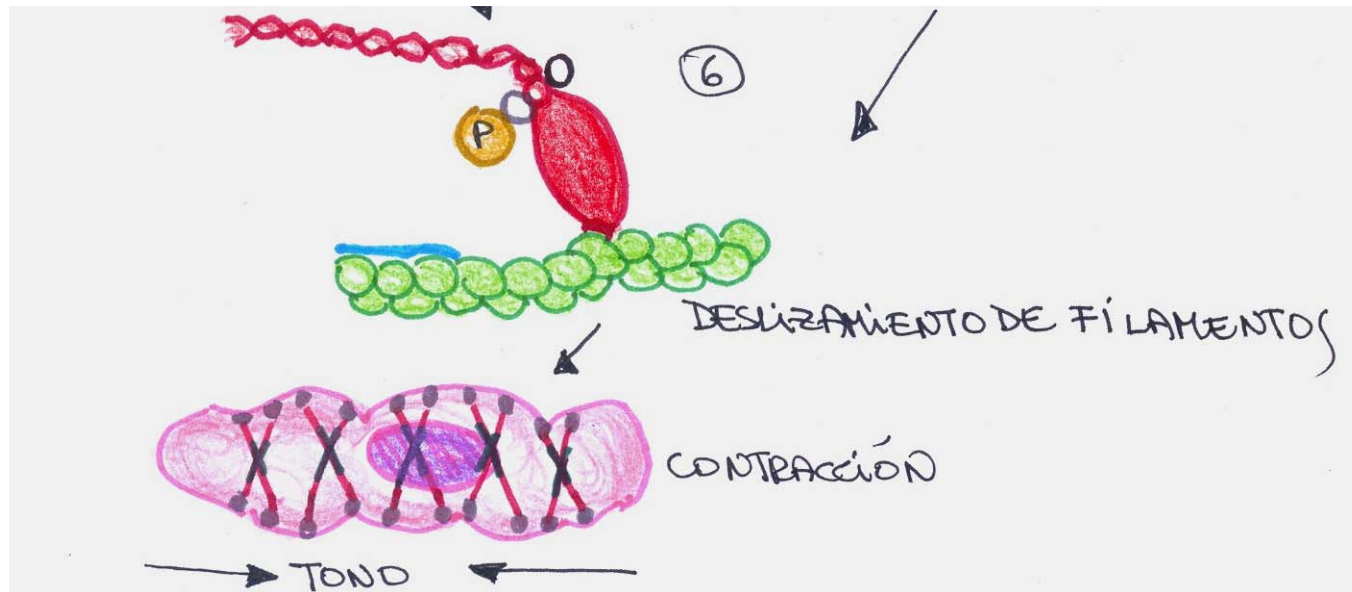





# Contracción del Músculo liso



Miosina fosforilada  
Actina sin caldesmina

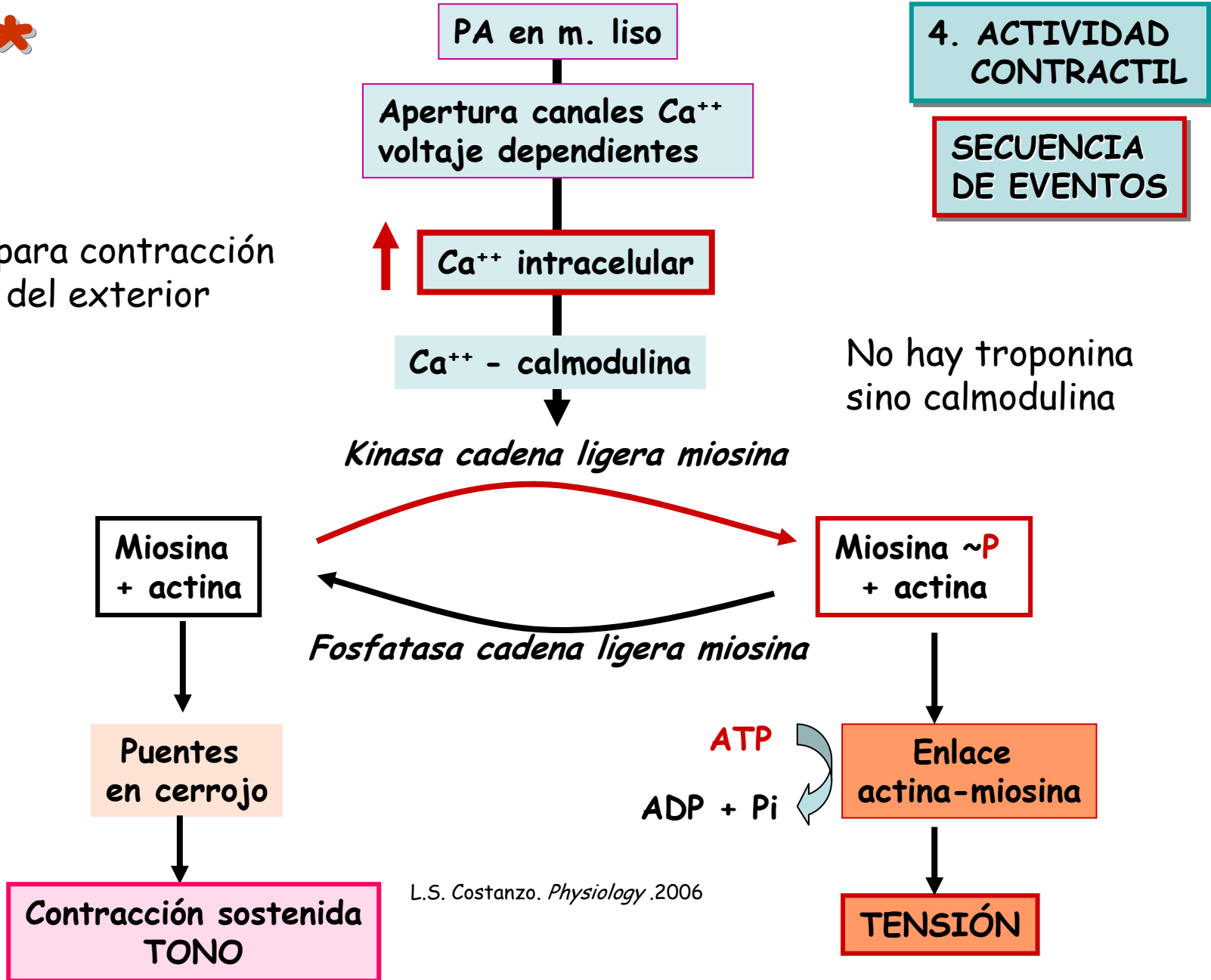


SECUENCIA DE EVENTOS

1. La kinasa de cadena ligera de miosina (MLCK) es activada por  $Ca^{++}$  - Calmodulina
2. La miosina es fosforilada por MLCK
3. Se enlazan actina - miosina y el músculo se contrae
4.  Un mecanismo de *cerrojo* ocurre luego de la defosforilación de la miosina provocando contracción sostenida con mínima utilización de ATP



Ca<sup>++</sup> para contracción viene del exterior

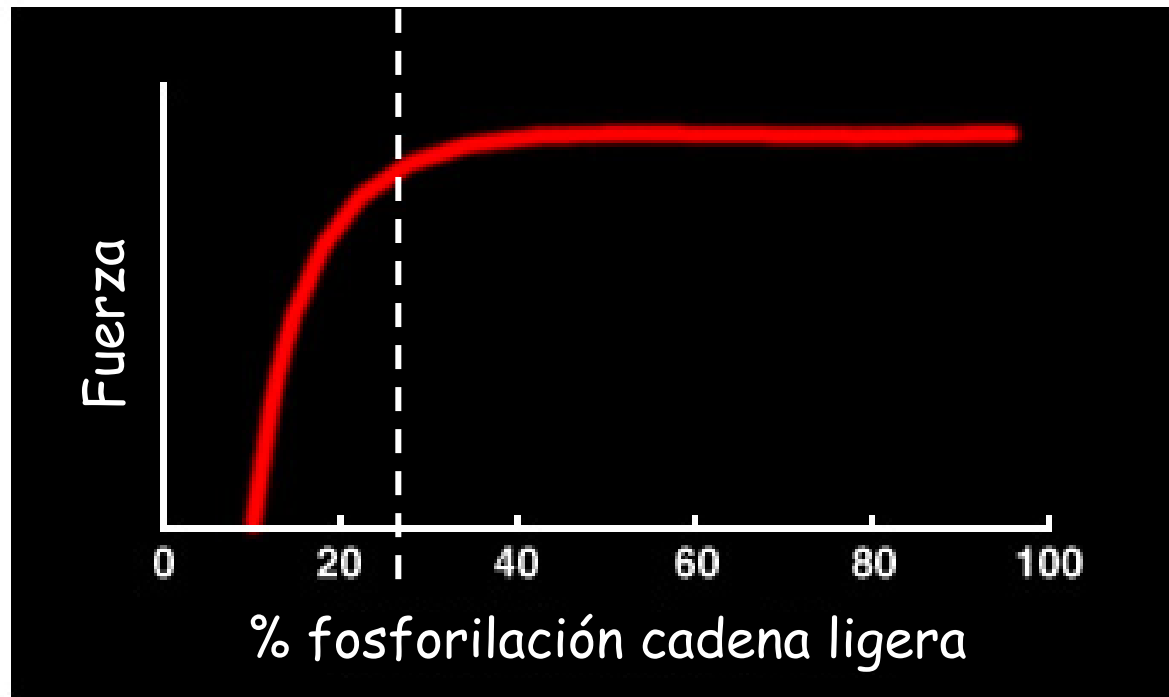


L.S. Costanzo. *Physiology*. 2006



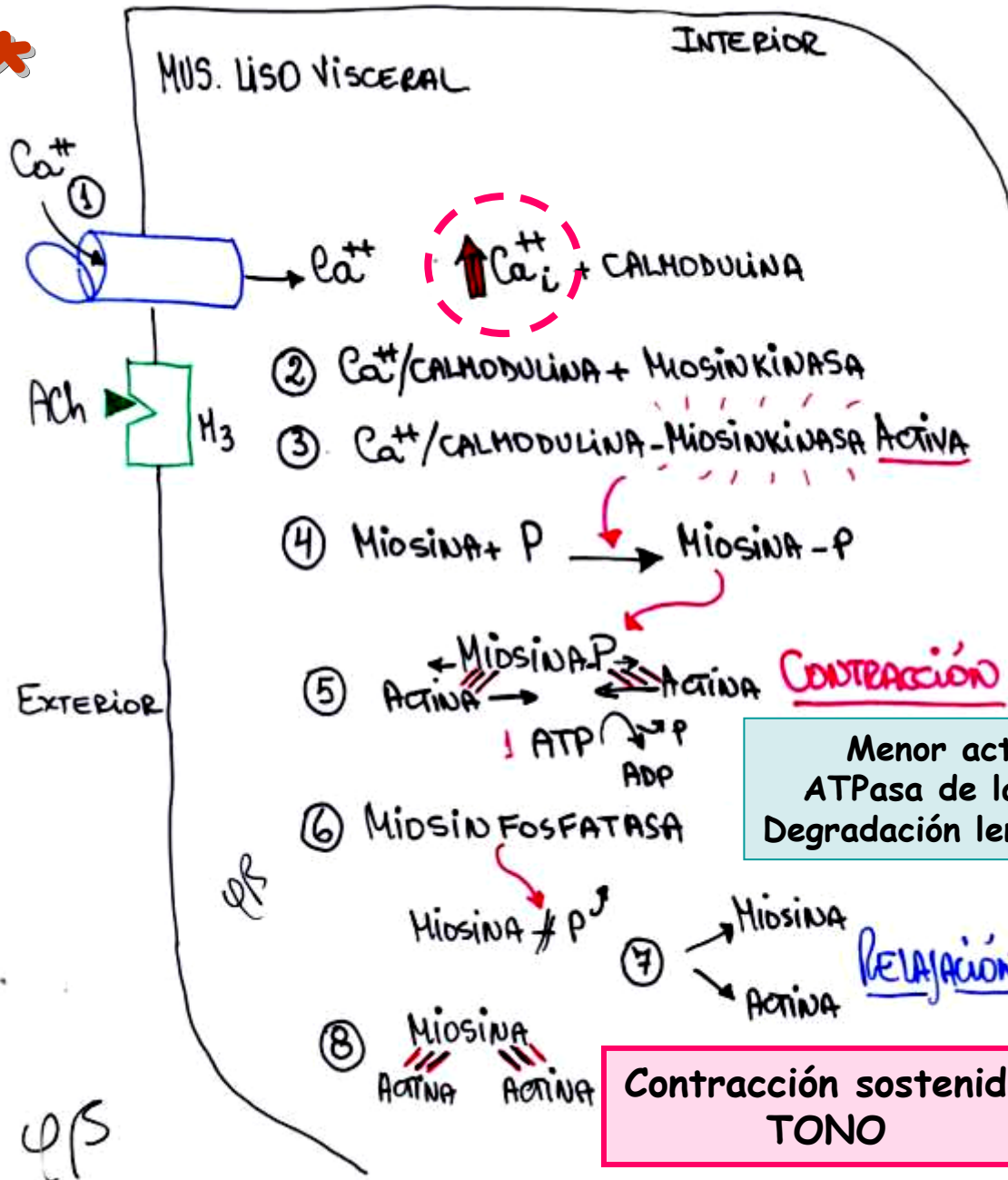
#### 4. ACTIVIDAD CONTRACTIL

Músculo liso



FUERZA - GRADO DE FOSFORILACIÓN de miosina

Con 25% de fosforilación se desarrolla casi 100% de fuerza



4. ACTIVIDAD CONTRACTIL

SECUENCIA DE EVENTOS

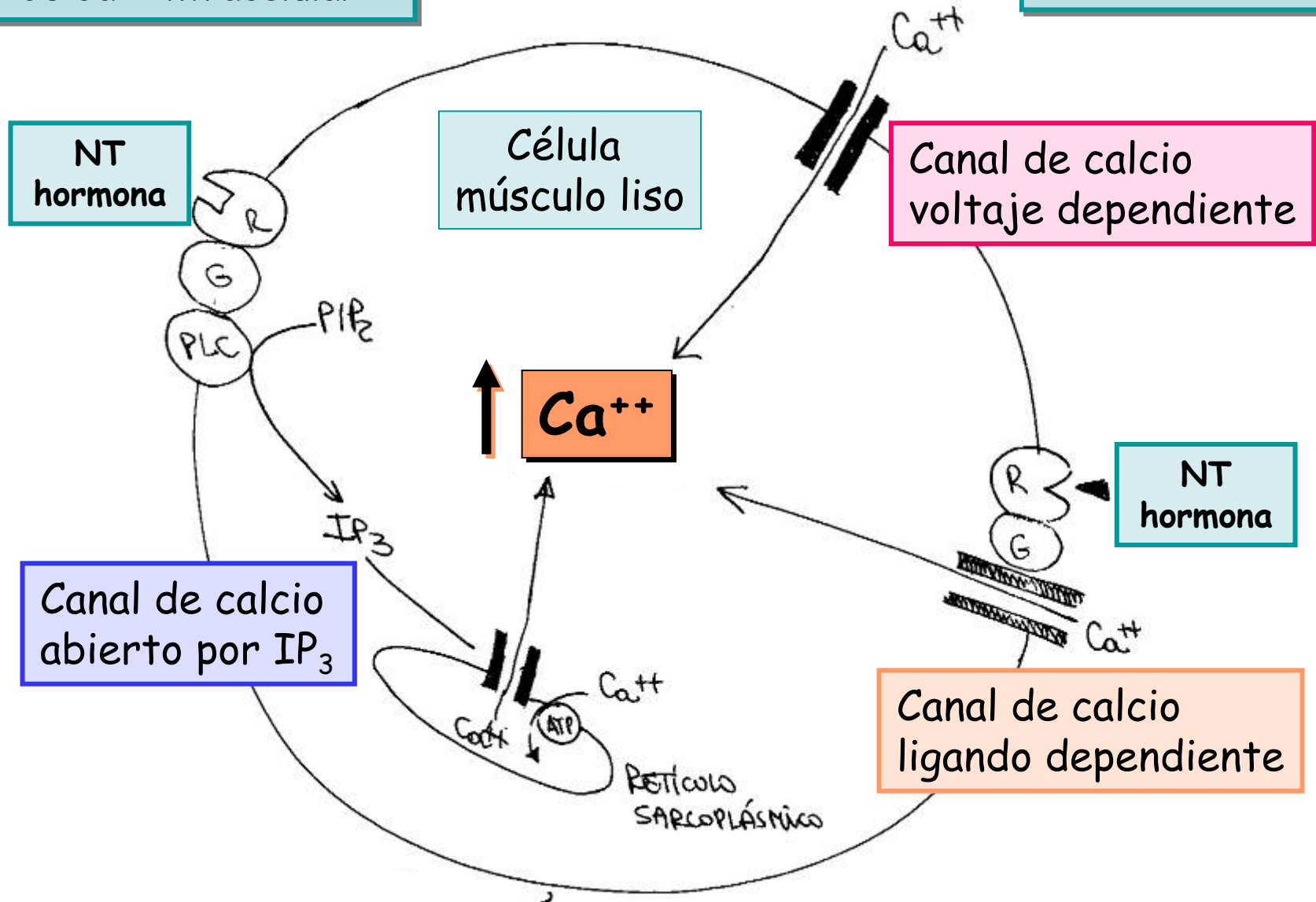
Menor actividad ATPasa de la miosina  
Degradación lenta de ATP

Contracción sostenida  
TONO

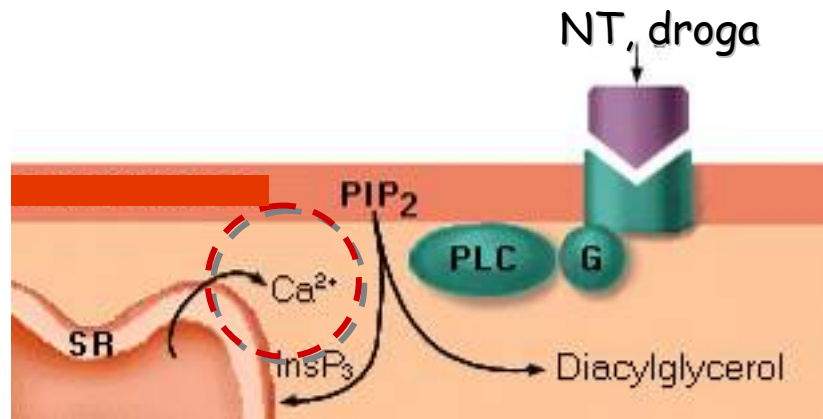
Fuentes de aumento de  $\text{Ca}^{++}$  intracelular



4. ACTIVIDAD CONTRACTIL

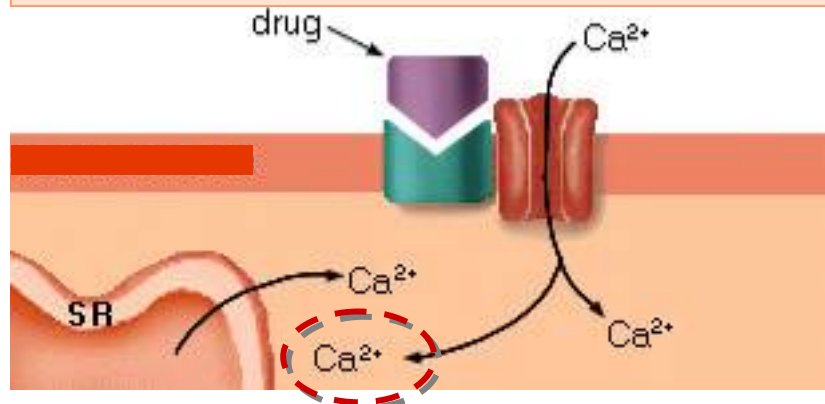


### 3. Acoplamiento fármacomecánico



2.

### Canales de Ca<sup>2+</sup> activados por ligando

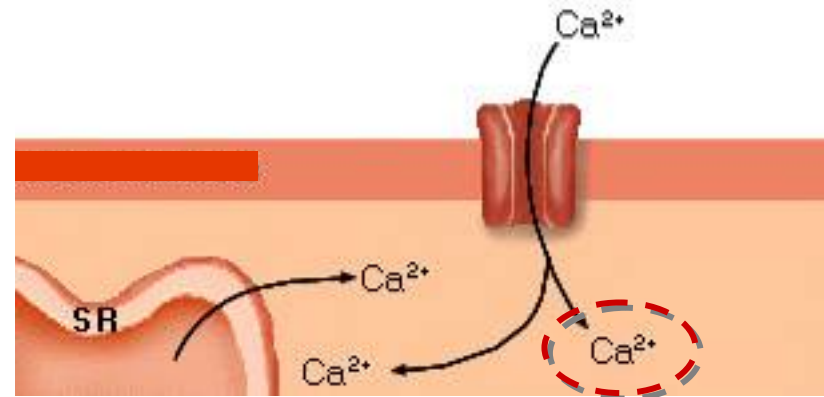


### 4. ACTIVIDAD CONTRACTIL

Aumento calcio intracelular

1.

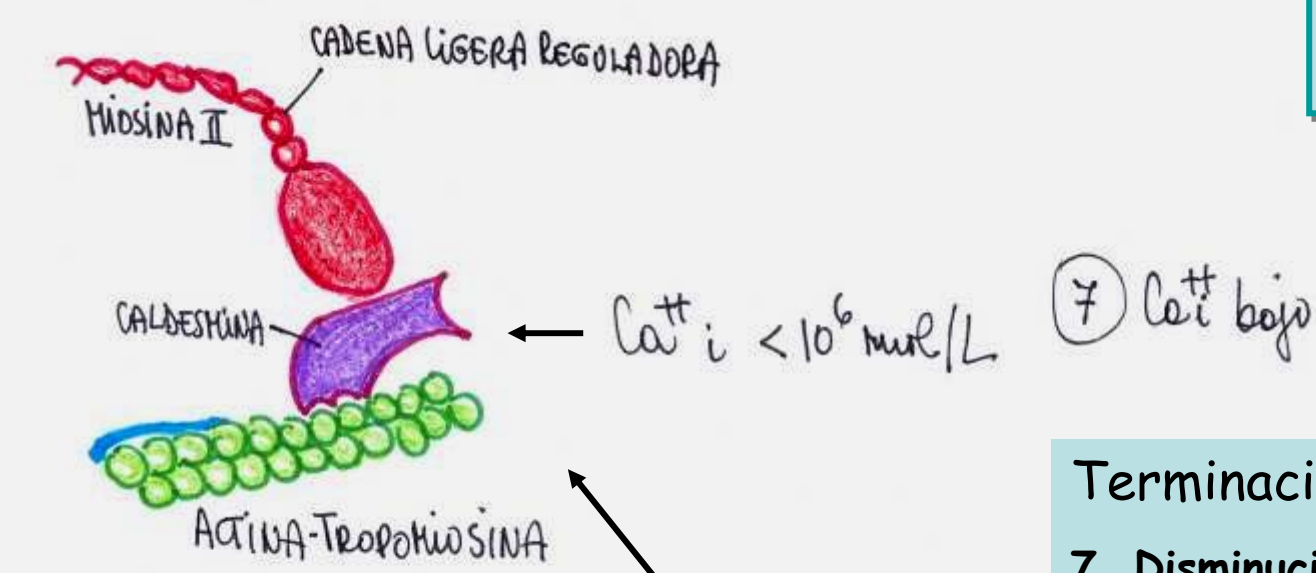
### Canales de Ca<sup>2+</sup> voltaje dependientes



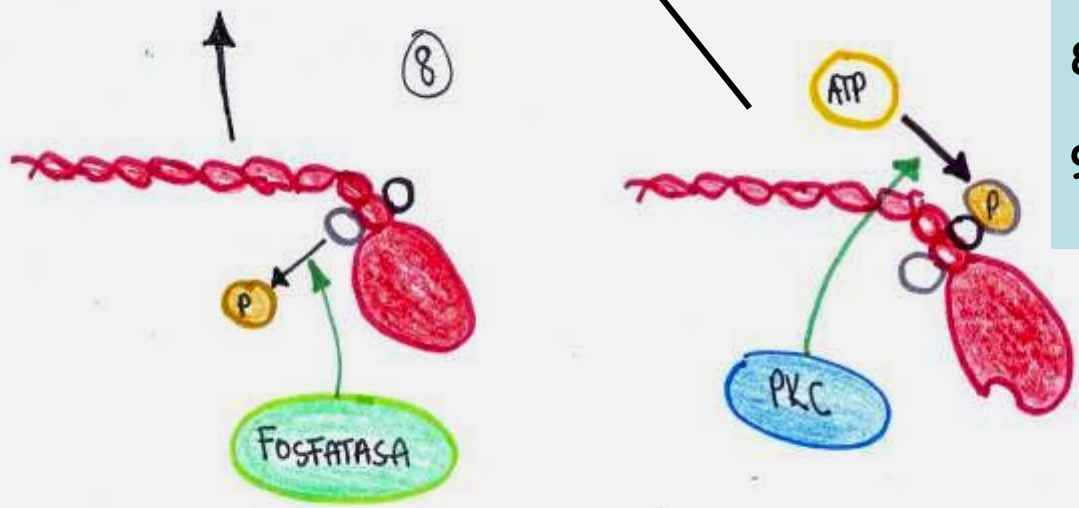


**4. ACTIVIDAD CONTRACTIL**

**SECUENCIA DE EVENTOS**



- Terminación de la acción:
- 7. Disminución  $Ca^{++}$  i
  - 8. Desfosforilación de miosina
  - 9. Fosforilación de miosina en otro sitio



FOSFATASA DESFOSFORILA a MIOSINA II a la CADENA LIGERA REGULADORA

PKC FOSFORILA OTRO SITIO en CADENA LIGERA REGULADORA -

#### 4. ACTIVIDAD CONTRACTIL



### Reversión del proceso contráctil

#### 1. Ca<sup>++</sup> intracelular baja

Salida al exterior y vuelta al RE  
Se inhibe la fosforilación de la miosina

#### 2. Desfosforilación de la miosina

Cesan los puentes actina-miosina

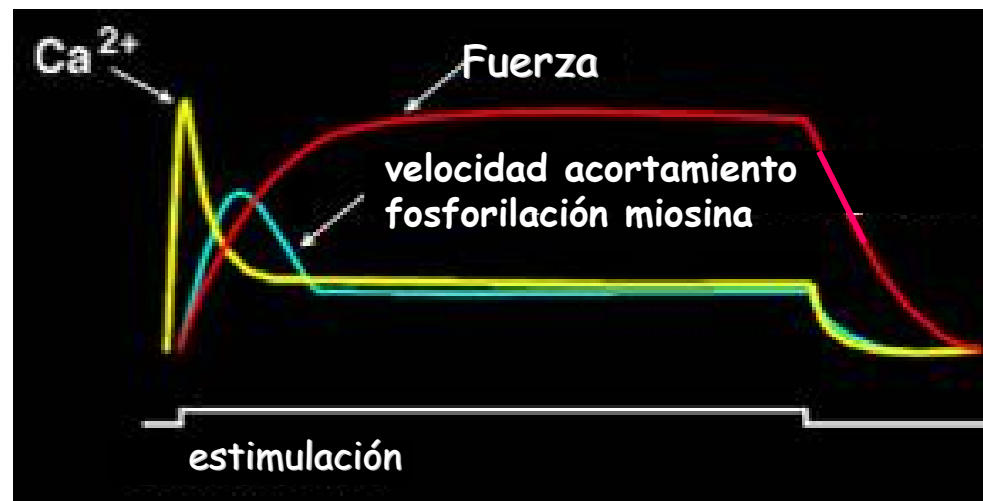


Sin embargo,  
los puentes en el músculo tónico  
son capaces de entrar en estado de "cerrojo"  
manteniendo la fuerza sin gastar más ATP



M. liso tónico  
(esfínteres)

## Puentes ACTINA - MIOSINA



**Inicio:** sube  $Ca^{++}$ , velocidad de acortamiento y fosforilación miosina

**Luego:** cae  $Ca^{++}$ , fosforilación miosina, velocidad de acortamiento y la hidrólisis de ATP

**Sin embargo,** la FUERZA se mantiene tónicamente



#### 4. ACTIVIDAD CONTRACTIL

m. liso tónico  
(esfínteres)

La maquinaria es muy económica,  
capaz de generar más fuerza  
con bajo gasto de ATP

Esto explica la contracción TÓNICA  
en m. liso tónico:

**¡Contracción sostenida  
con poco gasto!**

#### 4. ACTIVIDAD CONTRACTIL

#### M. ESQUELÉTICO

Ejercicio muscular 30 - 60 min. para perder peso  
Se consume mucha energía en la contracción muscular

#### M. LISO

Cómo sería el gasto de energía en actividad motora intestinal, casi continua, si el gasto fuera igual que en m. esquelético!



#### 4. ACTIVIDAD CONTRACTIL



**PUENTES ACTINA-MIOSINA**  
hay **MENOR** actividad ATPasa



**LENTA** degradación del ATP  
que energiza las cabezas de miosina



**MAYOR** duración de la contracción



#### 4. ACTIVIDAD CONTRACTIL

El tiempo de enlace  
**ACTINA-MIOSINA**  
determina



**MAYOR fuerza de contracción**  
con  
**MENOR gasto de energía**  
(1 ATP por ciclo)!!

Importante en el  
mantenimiento del  
**TONO MUSCULAR**  
en vísceras huecas!!

#### 4. ACTIVIDAD CONTRACTIL

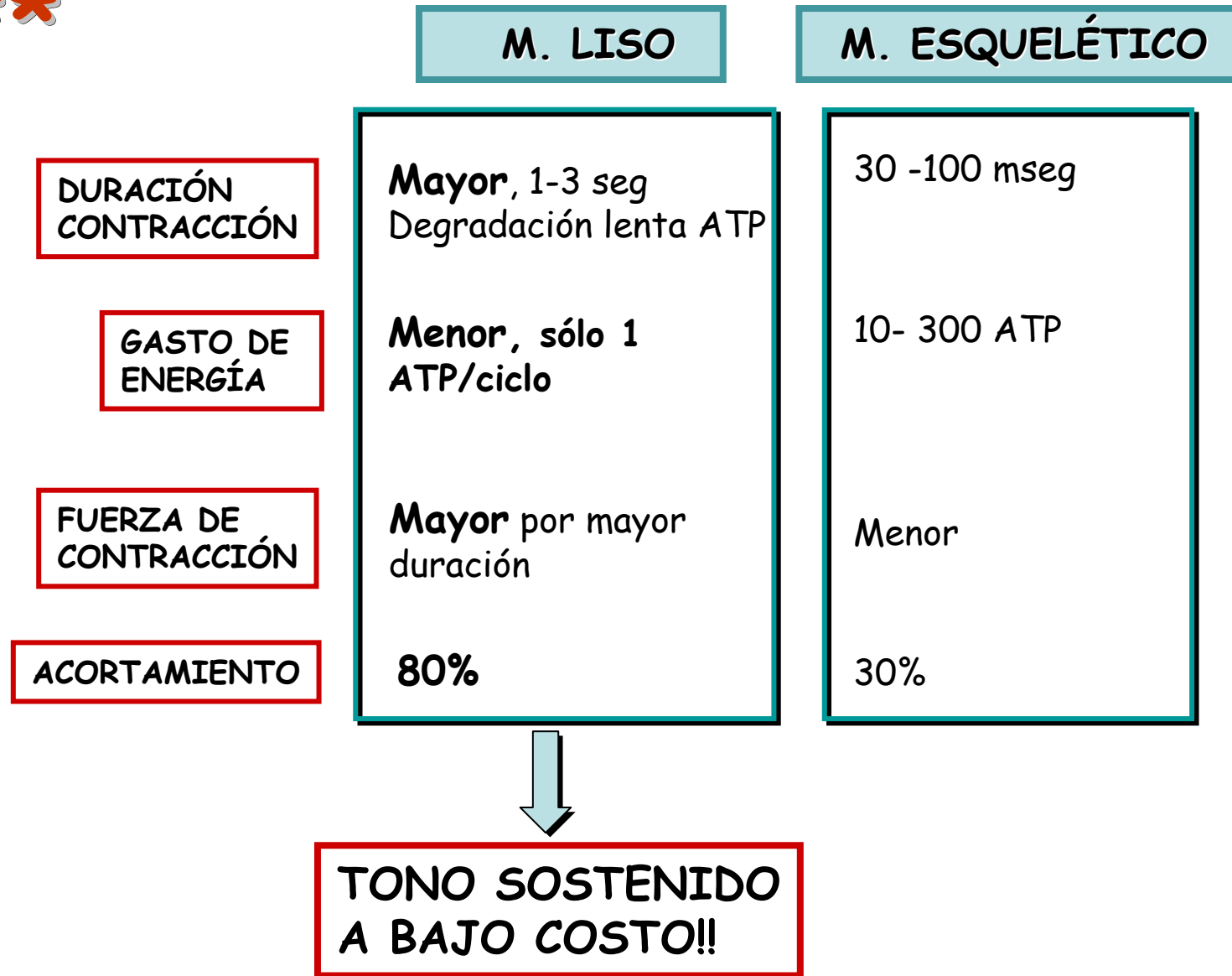


### ECONOMÍA CONTRÁCTIL

1. Baja tasa de hidrólisis de ATP en miosina
2. Alta fuerza generada en los puentes ACTINA-MIOSINA
3. Capacidad de los puentes de entrar en estado de cerrojo en músculo liso tónico

Buen diseño para mantenimiento económico del TONO







## MÚSCULO LISO VISCERAL

1. *SINCITIO* **FUNCIONAL**
2. **NO HAY** PR VERDADERO
3. EL PA ES POR ENTRADA LENTA DE **CALCIO**
4. LA INERVACIÓN EXTRÍNSECA **NO ES** NECESARIA PARA LA CONTRACCIÓN
5. EL MÚSCULO PUEDE CONTRAERSE **SIN PA**, ES SENSIBLE A MUCHOS MENSAJEROS
6. EL **ESTIRAMIENTO** ES EL ESTÍMULO MÁS IMPORTANTE
7. HAY MAYOR FUERZA Y DURACIÓN DE LA CONTRACCIÓN CON **MENOR GASTO** DE ENERGÍA QUE PERMITE MANTENER EL **TONO**

# Aparato Digestivo

## TEMA 1

I. INTRODUCCIÓN

II. MORFOLOGÍA

III. MOTILIDAD

**IV. SECRECIÓN**

**V. CIRCULACIÓN**

**VI. REGULACIÓN**