

# Clasificación de Insecticidas por su Modo de Acción

J. Concepción Rodríguez Maciel

Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo

---

# La ruta de la muerte

**Interaccionar  
con una  
proteína**

---

---

# Las rutas de la muerte

- Impedir el funcionamiento normal de los canales de iones
    - Sodio
    - Potasio
    - Cloro
  - Inhibir una enzima
    - Acetilcolinesterasa
-

---

# Las rutas de la muerte

- Mimetizar o inhibir un neurotransmisor
    - Acetilcolina
  - Mimetizar una hormona
    - Hormona juvenil
  - Destruir membranas
    - Mesenterón
-

---

# Las rutas de la muerte

- Inhibir la biosíntesis de sustancias químicas necesarias para la vida
    - Quitina
    - Lípidos
  - Impedir procesos fisiológicos estratégicos
    - Muda
  - Impedir la formación de ATP
-



# **IRAC Mode of Action Classification Scheme**

---

*Issued, March 2020*

*Version 9.4*

**Prepared by: IRAC International MoA Working Group**

**Approved by: IRAC Executive**

**ROTACIÓN SUGERIDA: 11-11-15-15-1-5-5-7-7 REPETIR LAS VECES QUE SEA NECESARIO DURANTE LA TEMPORADA DE COMBATE QUÍMICO.**

# Insecticidas Convencionales

- **SISTEMA NERVIOSO Y MUSCULAR**
- **CRECIMIENTO Y DESARROLLO**
- **RESPIRACIÓN**
- **MESENTERÓN**
- **DESCONOCIDO**



# Sistema nervioso y muscular

## Inhibidores de la acetilcolinesterasa

FYFANON = malation

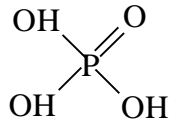
Main Group and Primary Site of Action	Sub-group or exemplifying Active Ingredient	Active Ingredients
<p><b>1</b> <b>Acetylcholinesterase (AChE) inhibitors</b></p> <p>Nerve action</p> <p>{Strong evidence that action at this protein is responsible for insecticidal effects}</p>	<p><b>1A</b> Carbamates</p>	<p>Alanycarb, Aldicarb, Bendiocarb, Benfuracarb, Butocarboxim, Butoxycarboxim, Carbaryl, Carbofuran, Carbosulfan, Ethiofencarb, Fenobucarb, Formetanate, Furathiocarb, Isoprocarb, Methiocarb, Methomyl, Metolcarb, Oxamyl, Pirimicarb, Propoxur, Thiodicarb, Thiofanox, Triazamate, Trimethacarb, XMC, Xylycarb</p>
	<p><b>1B</b> Organophosphates</p>	<p>Acephate, Azamethiphos, Azinphos-ethyl, Azinphos-methyl, Cadusafos, Chlorethoxyfos, Chlorfenvinphos, Chlormephos, Chlorpyrifos, Chlorpyrifos-methyl, Coumaphos, Cyanophos, Demeton-S-methyl, Diazinon, Dichlorvos/ DDVP, Dicrotophos, Dimethoate, Dimethylvinphos, Disulfoton, EPN, Ethion, Ethoprophos, Famphur, Fenamiphos, Fenitrothion, Fenthion, Fosthiazate, Heptenophos, Imicyafos, Isofenphos, Isopropyl O-(methoxyaminothio-phosphoryl) salicylate, Isoxathion, Malathion, Mecarbam, Methamidophos, Methidathion, Mevinphos, Monocrotophos, Naled, Omethoate, Oxydemeton-methyl, Parathion, Parathion-methyl, Phenthoate, Phorate, Phosalone, Phosmet, Phosphamidon, Phoxim, Pirimiphos- methyl, Profenofos, Propetamphos, Prothiofos, Pyraclofos, Pyridaphenthion, Quinalphos, Sulfotep, Tebupirimfos, Temephos, Terbufos, Tetrachlorvinphos, Thiometon, Triazophos, Trichlorfon, Vamidothion</p>

### Group 1 Acetylcholinesterase (AChE) inhibitors

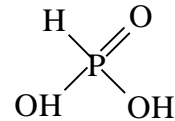
Inhibit AChE, causing hyperexcitation. AChE is the enzyme that terminates the action of the excitatory neurotransmitter acetylcholine at nerve synapses.

# Organofosforados

- Se derivan del ácido fosfórico y del ácido fosfónico.

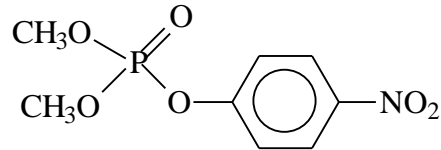


ácido fosfórico



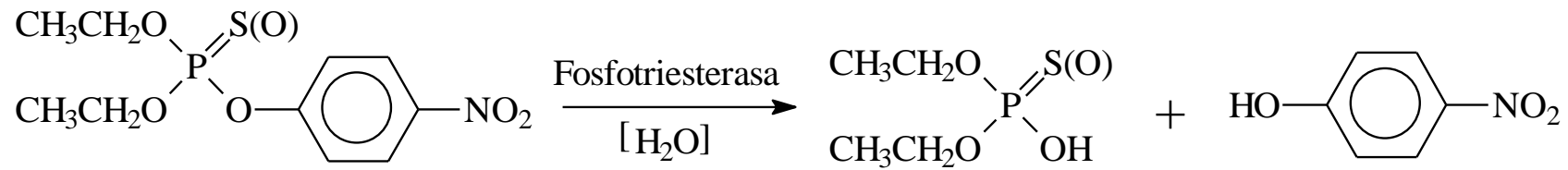
ácido fosfónico

- Características básicas:



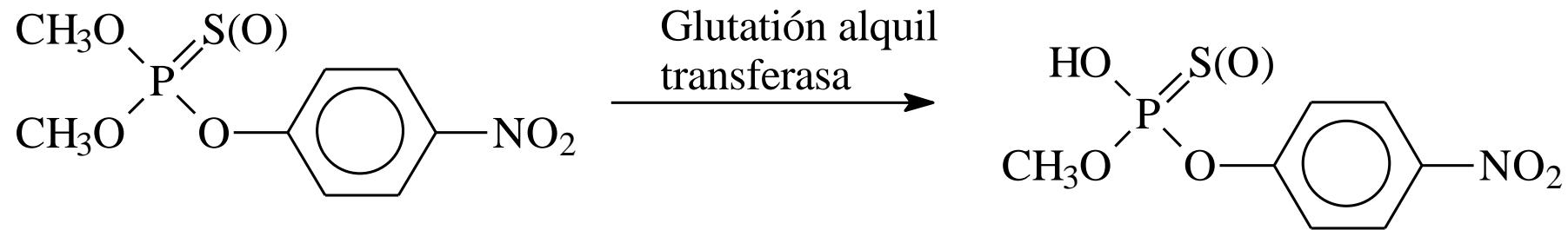
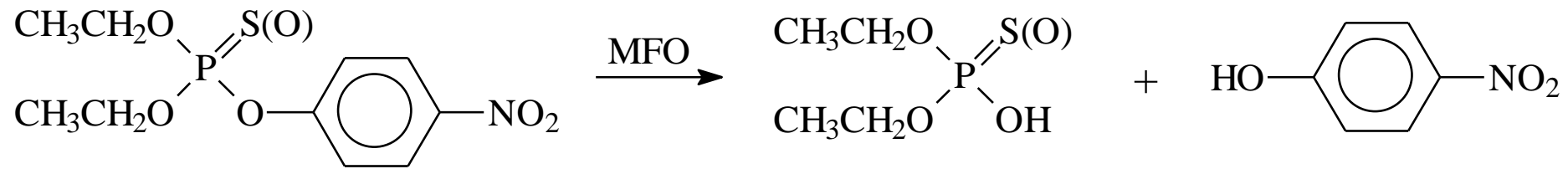
- La molécula es un éster del ácido fosfónico
- Son más tóxicos para vertebrados que los insecticidas organoclorados
- El fósforo reactivo es la parte central de la molécula. El P está unido por doble ligadura a un S o a un O
- No son persistentes en el ambiente. Esta característica ocasionó que los OF desplazaran a los OC en muchos usos agrícolas.
- La molécula puede ser alifática, cíclica o heterocíclica

# Organofosforados

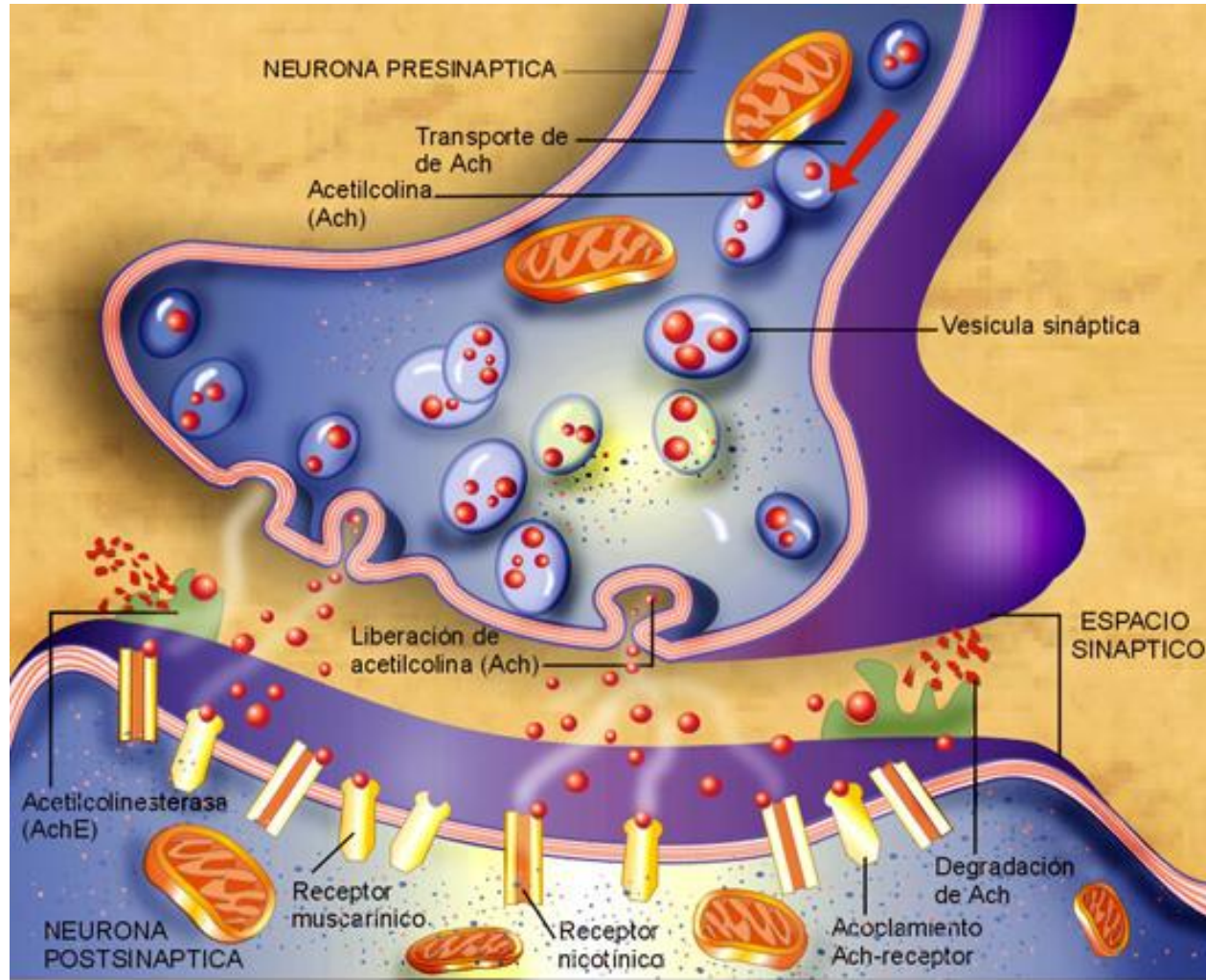


- Esterasas no específicas
  - B1
  - A2B2
- Amplificación génica

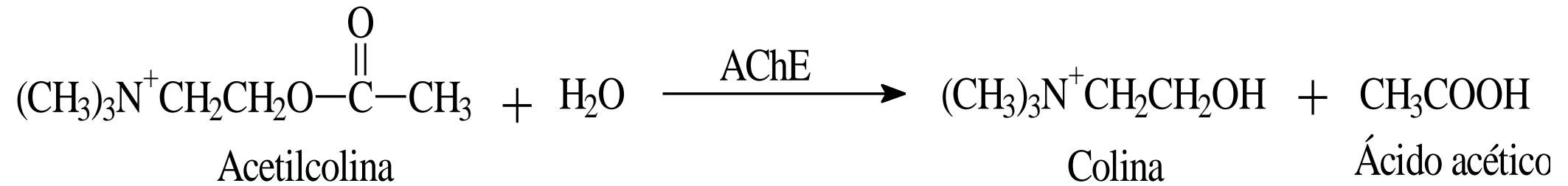
# Organofosforados



# Organofosforados



# Organofosforados



**Acetilcolinesterasa insensível**

# Sistema nervioso y muscular

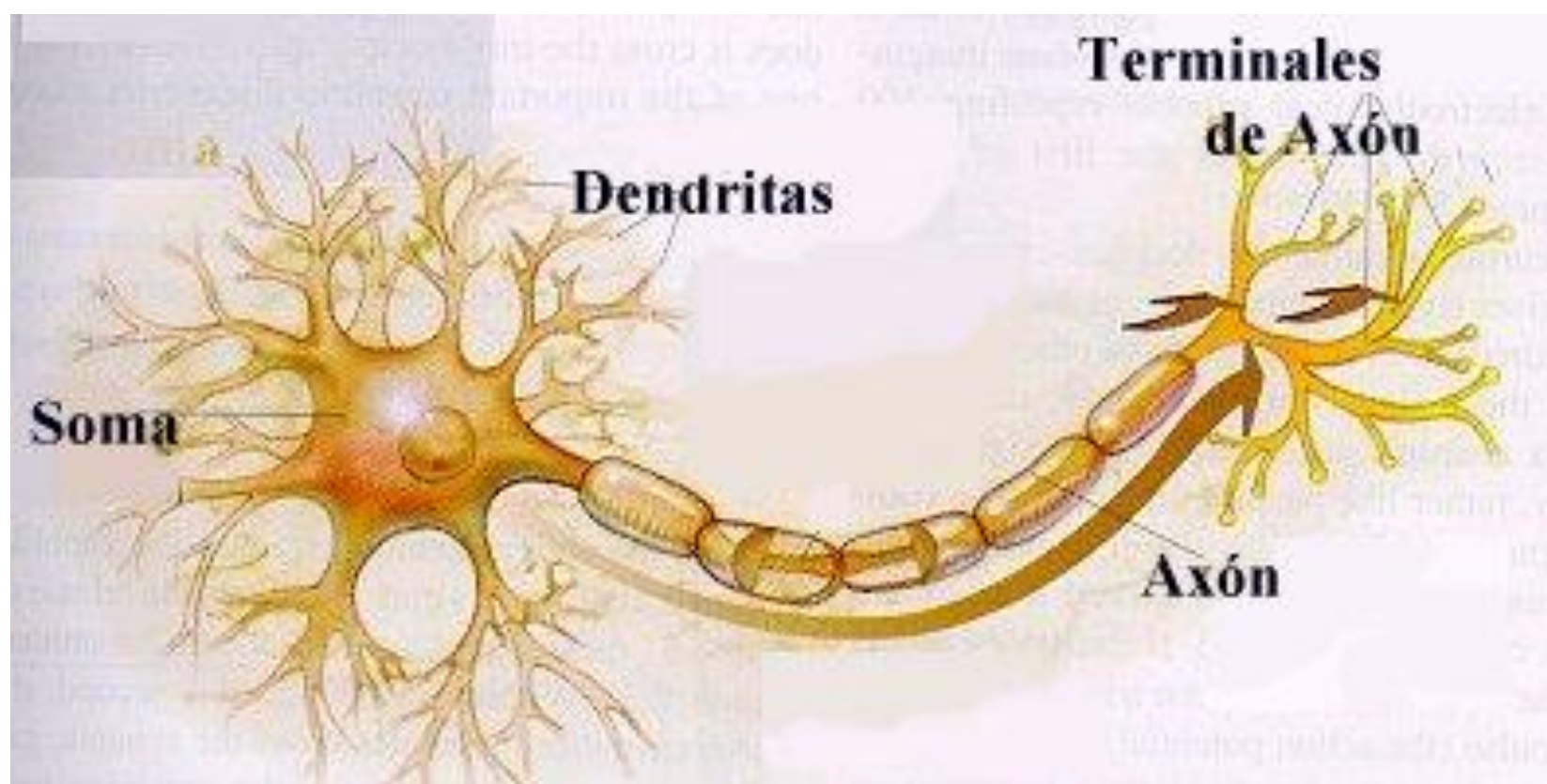
## Moduladores de los canales de sodio

MUSTANG MAX = zeta cipermetrina  
 FENTROL = gamma-cyhalothrina

Main Group and Primary Site of Action	Sub-group or exemplifying Active Ingredient	Active Ingredients
<b>3 Sodium channel modulators</b> Nerve action {Strong evidence that action at this protein is responsible for insecticidal effects}	<b>3A</b> Pyrethroids Pyrethrins	Acrinathrin, Allethrin, d- <i>cis-trans</i> Allethrin, d- <i>trans</i> Allethrin, Bifenthrin, Bioallethrin, Bioallethrin S-cyclopentenyl isomer , Bioresmethrin, Cycloprothrin, Cyfluthrin, <i>beta</i> -Cyfluthrin, Cyhalothrin, <i>lambda</i> -Cyhalothrin, <i>gamma</i> -Cyhalothrin, Cypermethrin, <i>alpha</i> -Cypermethrin, <i>beta</i> -Cypermethrin, <i>theta</i> -cypermethrin, <i>zeta</i> -Cypermethrin, Cyphenothrin , (1 <i>R</i> )- <i>trans</i> - isomers], Deltamethrin, Empenthrin (EZ)-(1 <i>R</i> )- isomers], Esfenvalerate, Etofenprox, Fenpropathrin, Fenvalerate, Flucythrinate, Flumethrin, <i>tau</i> -Fluvalinate, Halfenprox, Imiprothrin, Kadethrin, Permethrin, Phenothrin [(1 <i>R</i> )- <i>trans</i> - isomer], Prallethrin, Pyrethrins (pyrethrum), Resmethrin, Silafluofen, Tefluthrin, Tetramethrin, Tetramethrin [(1 <i>R</i> )-isomers], Tralomethrin, Transfluthrin,
	<b>3B</b> DDT Methoxychlor	DDT Methoxychlor

### Group 3 Sodium channel modulators

Keep sodium channels open, causing hyperexcitation and, in some cases, nerve block. Sodium channels are involved in the propagation of action potentials along nerve axons.

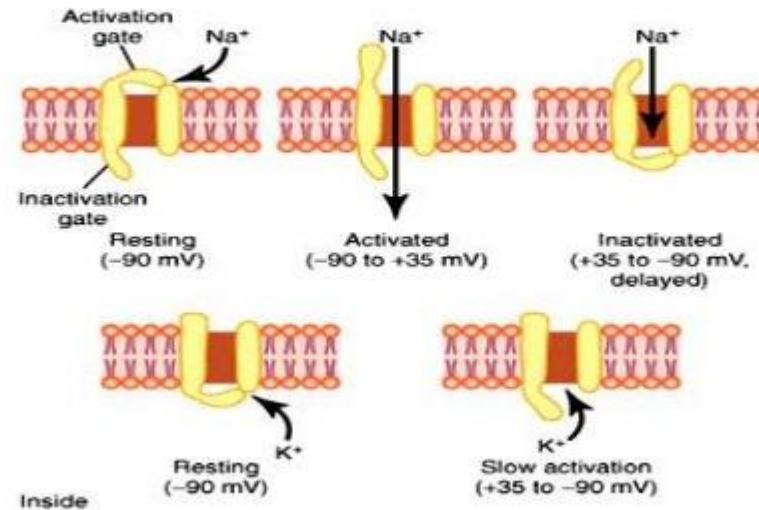




# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los canales de sodio

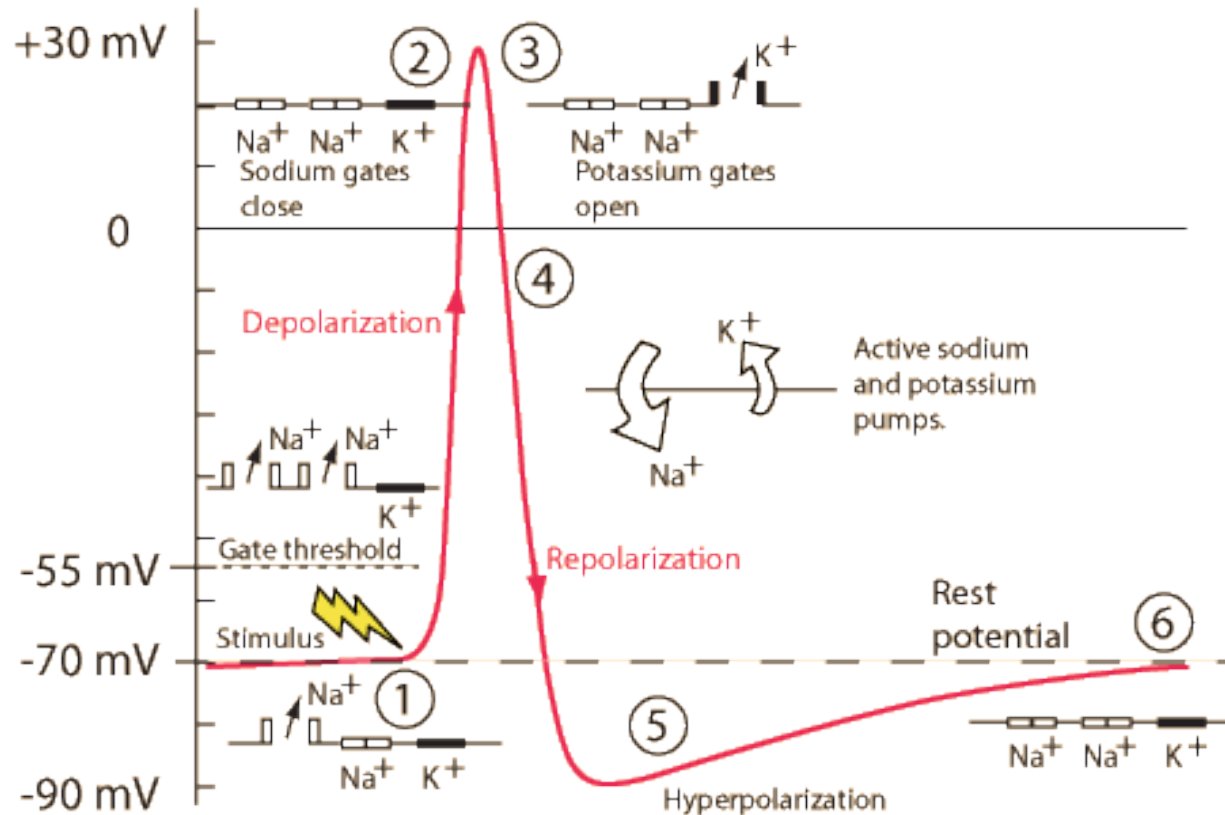
Canales Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> activados por voltaje



[https://www.google.com.mx/search?q=CANALES+SODIO&biw=1920&bih=979&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKewif0J2K5cbMAhVHKW MKHvr\\_BFsQsAQIJQ#imgrc=Z16oHVOVD1iSjM%3A](https://www.google.com.mx/search?q=CANALES+SODIO&biw=1920&bih=979&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKewif0J2K5cbMAhVHKW MKHvr_BFsQsAQIJQ#imgrc=Z16oHVOVD1iSjM%3A)

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los canales de sodio



# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los canales de sodio

### PIRETROIDES

- Los piretroides son compuestos sintéticos derivados de alcaloides presentes en las cabezuelas del piretro *Chrysanthemum (Tanacetum) cinerariifolium*.
- Los principales productores de piretro son:
  - Kenya
  - Irán
  - Japón
  - Ecuador
  - Nueva Guinea

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los canales de sodio

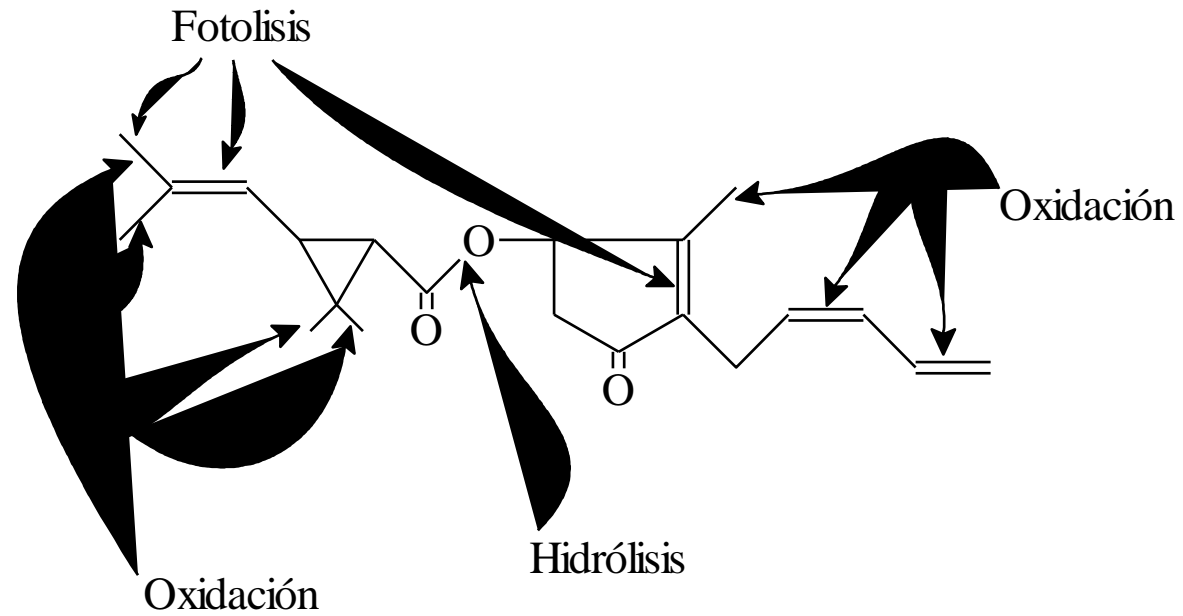
### PIRETROIDES

- Componentes del piretro:
  - Seis esteres formados por la combinación de dos ácidos (ácido crisantémico y ácido pirétrico) y tres alcoholes (piretrolona, cinerolona y jasmolona).
- Esteres del piretro:
  - Piretrina I
  - Piretrina II
  - Cinerina I
  - Cinerina II
  - Jasmolina I
  - Jasmolina II

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los canales de sodio

### PIRETROIDES



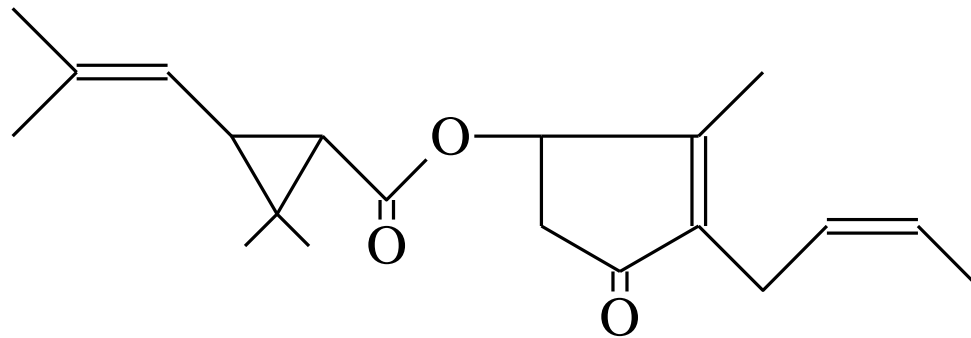
Piretrina I

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los canales de sodio

### PIRETROIDES

- A la piretrina I se le hicieron modificaciones con la finalidad de:
  - Reducir el efecto de la luz solar
  - Reducir el impacto de la oxidación
  - Conservar o incrementar la toxicidad para insectos
  - Conservar o reducir la toxicidad para animales de sangre caliente.
- RETROLONA:
  - Se sintetizó en 1945
  - Baja estabilidad para usos agrícolas
  - Se eliminó un punto de ataque de la oxidación



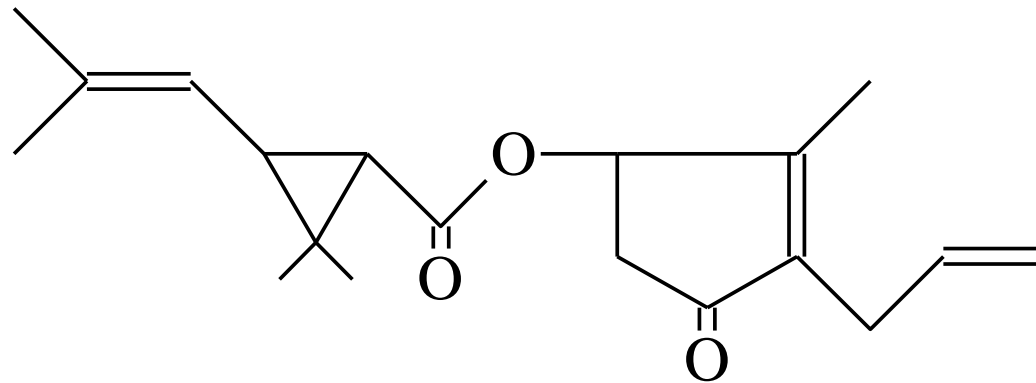
Retrolona

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los canales de sodio

### PIRETROIDES

- ALETRINA
  - Existe una rápida oxidación de la cadena alifática del grupo pentadienil.



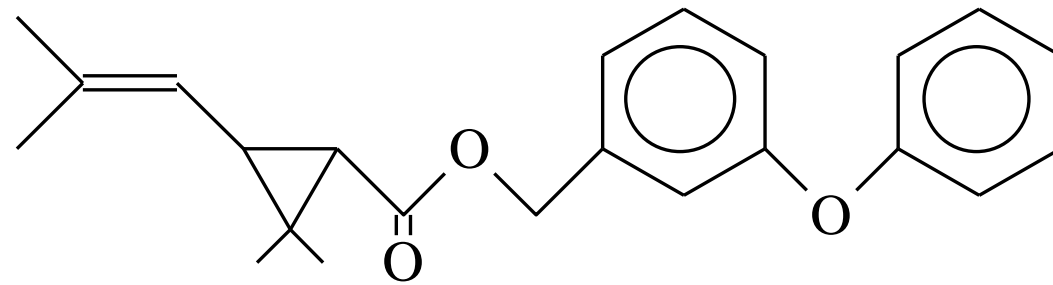
Aletrina

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los canales de sodio

### PIRETROIDES

- FENOTRINA:
  - La parte alcohol tiene modificaciones aceptables
  - Se considera necesario trabajar con la parte ácida



Fenotrina

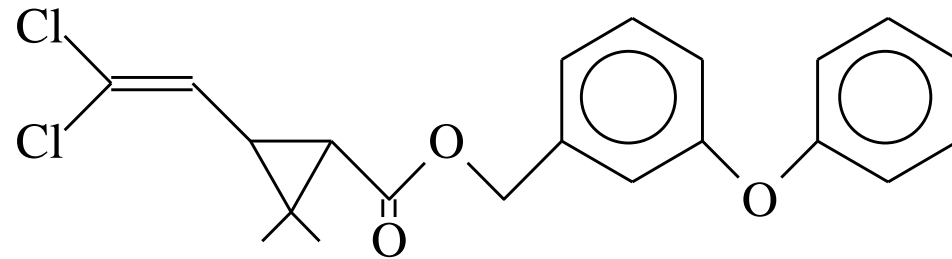


# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los canales de sodio

### PIRETROIDES

- PERMETRINA
  - Es más estable en la superficie foliar
  - Sigue siendo de baja toxicidad para mamíferos



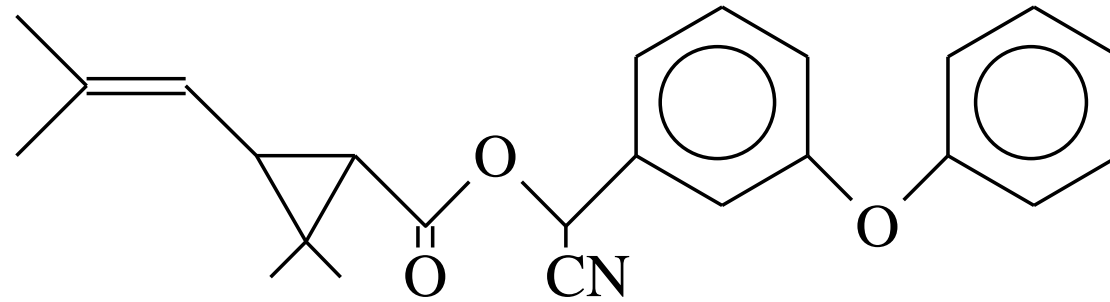
Permetrina

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los canales de sodio

### PIRETROIDES

- CIPERMETRINA:
  - Es menos atacada por esterasas al poseer un grupo  $\alpha$ -CIANO



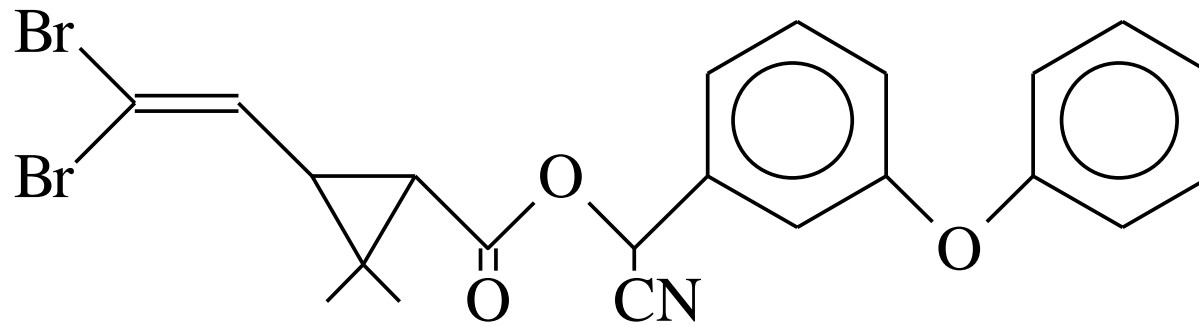
Cipermetrina

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los canales de sodio

### PIRETROIDES

- DECAMETRINA:
  - Es muy tóxica para insectos
  - Es altamente lipofílica



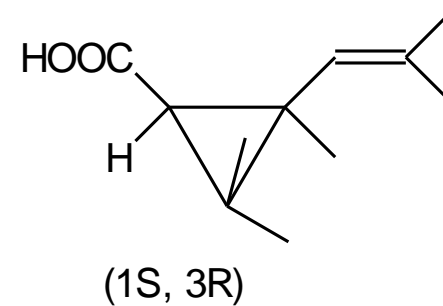
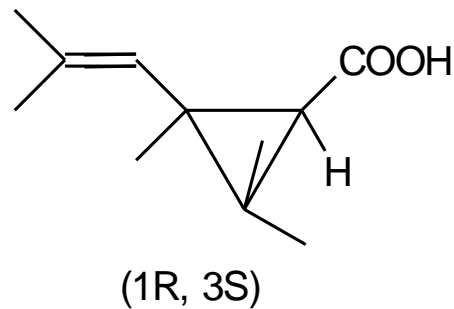
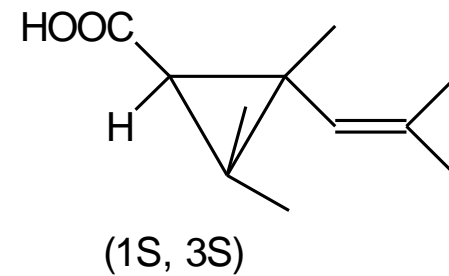
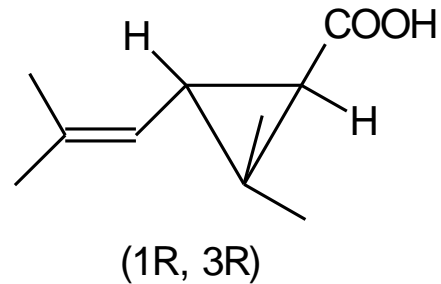
Decametrina

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los canales de sodio

### PIRETROIDES

- El isomerismo que se presenta en el anillo ciclopropano influye notablemente en la toxicidad del piretroide. La combinación de isómeros más tóxica es (1R, 3R).



# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los canales de sodio

### PIRETROIDES

- PIRETROIDES TIPO I
  - Carecen de grupo  $\alpha$ -CIANO
  - Acción más periferal
  - Temblores, convulsiones e hiperexcitabilidad
  - Provocan descargas repetitivas en el músculo
  - Correlación negativa entre temperatura y toxicidad
- PIRETROIDES TIPO II
  - Presentan el grupo  $\alpha$ -CIANO
  - Actúan más en el sistema nervioso central
  - Su efecto tóxico es menos espectacular
  - No provocan descargas repetitivas en el músculo
  - Correlación positiva entre temperatura y toxicidad

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores competitivos de los receptores nicotínicos de la acetilcolina

PICUS = imidacloprid

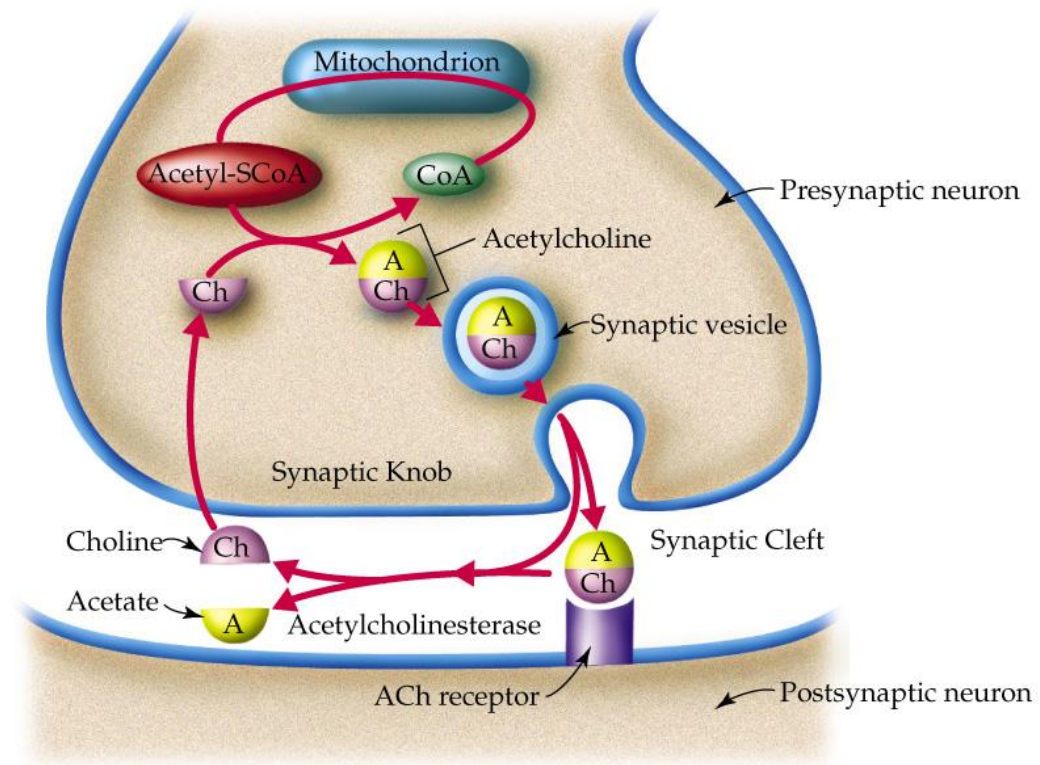
<b>4</b> <b>Nicotinic acetylcholine receptor (nAChR) competitive modulators</b>  Nerve action  {Strong evidence that action at one or more of this class of protein is responsible for insecticidal effects}	<b>4A</b> Neonicotinoids	Acetamiprid, Clothianidin, Dinotefuran, Imidacloprid, Nitenpyram, Thiacloprid, Thiamethoxam,
	<b>4B</b> Nicotine	Nicotine
	<b>4C</b> Sulfoximines	Sulfoxaflor
	<b>4D</b> Butenolides	Flupyradifurone
	<b>4E</b> Mesoionics	Triflumezopyrim

*Group 4 Nicotinic acetylcholine receptor (nAChR) competitive modulators*

Bind to the acetylcholine site on nAChRs, causing a range of symptoms from hyper-excitation to lethargy and paralysis. Acetylcholine is the major excitatory neurotransmitter in the insect central nervous system.

# Sistema nervioso y muscular

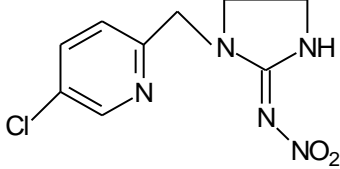
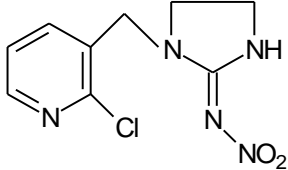
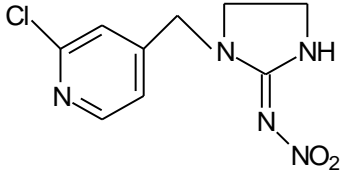
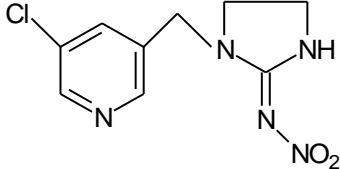
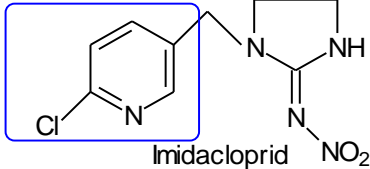
## Moduladores competitivos de los receptores nicotínicos de la acetilcolina



# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores competitivos de los receptores nicotínicos de la acetilcolina

### NEONICOTINOIDES

Estructura química	Toxicidad relativa
	1.6
	1.6
	1.6
	8.0
 Imidacloprid	1000



# Sistema nervioso y muscular

## Bloqueadores de los canales de sodio dependientes del voltaje

AVAUNT = indoxacarb

<b>22</b> <b>Voltage-dependent sodium channel blockers</b>  Nerve action  {Good evidence that action at this protein complex is responsible for insecticidal effects}	<b>22A</b> Oxadiazines	Indoxacarb
	<b>22B</b> Semicarbazones	Metaflumizone

### *Group 22 Voltage-dependent sodium channel blockers*

Block sodium channels, causing nervous system shutdown and paralysis.

Sodium channels are involved in the propagation of action potentials along nerve axons.

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los receptores de ryanodina

VERIMARK = ciantraniliprole  
BENEVIA = ciantraniliprole  
CORAGEN = ciantraniliprole

<b>28</b> <b>Ryanodine receptor modulators</b> Nerve and muscle action {Strong evidence that action at this protein complex is responsible for insecticidal effects}	Diamides	Chlorantraniliprole, Cyantraniliprole, Cyclaniliprole Flubendiamide, Tetraniiprole
---	----------	---

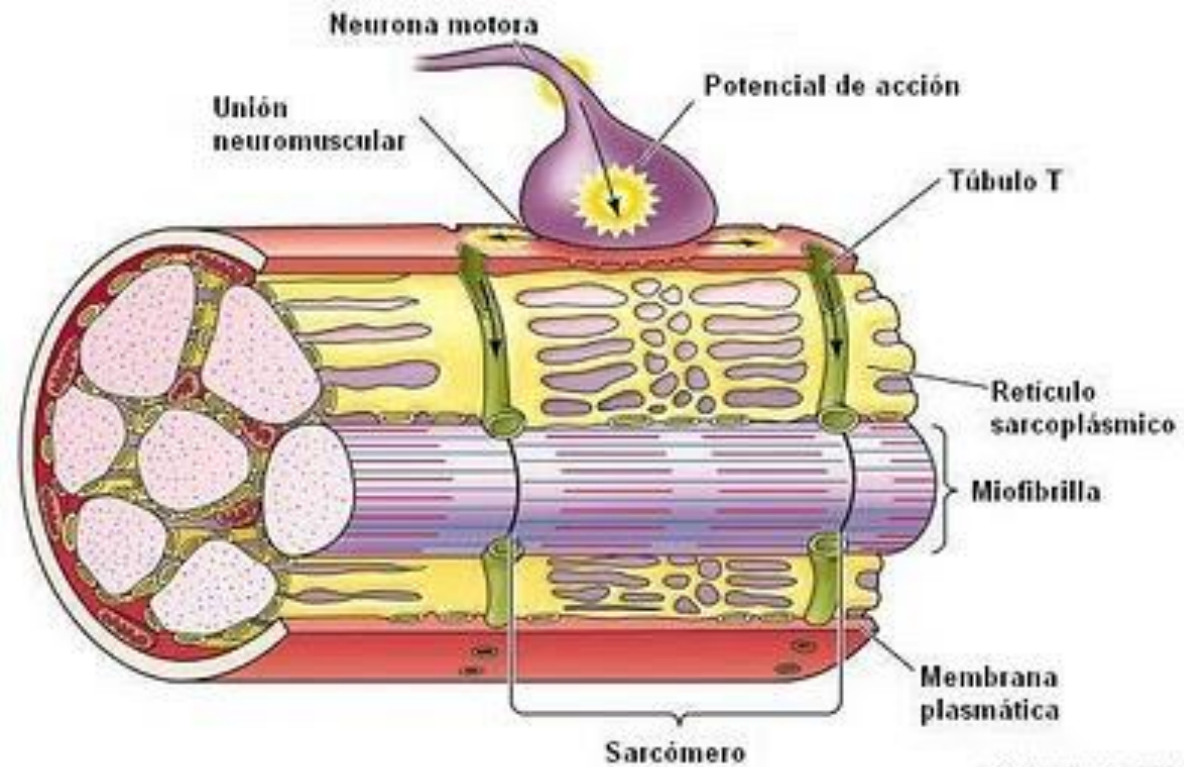
- Contienen canales de calcio
- Modulan la liberación de calcio de los retículos sarcoplásmicos y endoplásmicos que conlleva a la contracción muscular

### *Group 28 Ryanodine receptor modulators*

Activate muscle ryanodine receptors, leading to contraction and paralysis. Ryanodine receptors mediate calcium release into the cytoplasm from intracellular stores.

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los receptores de ryanodina

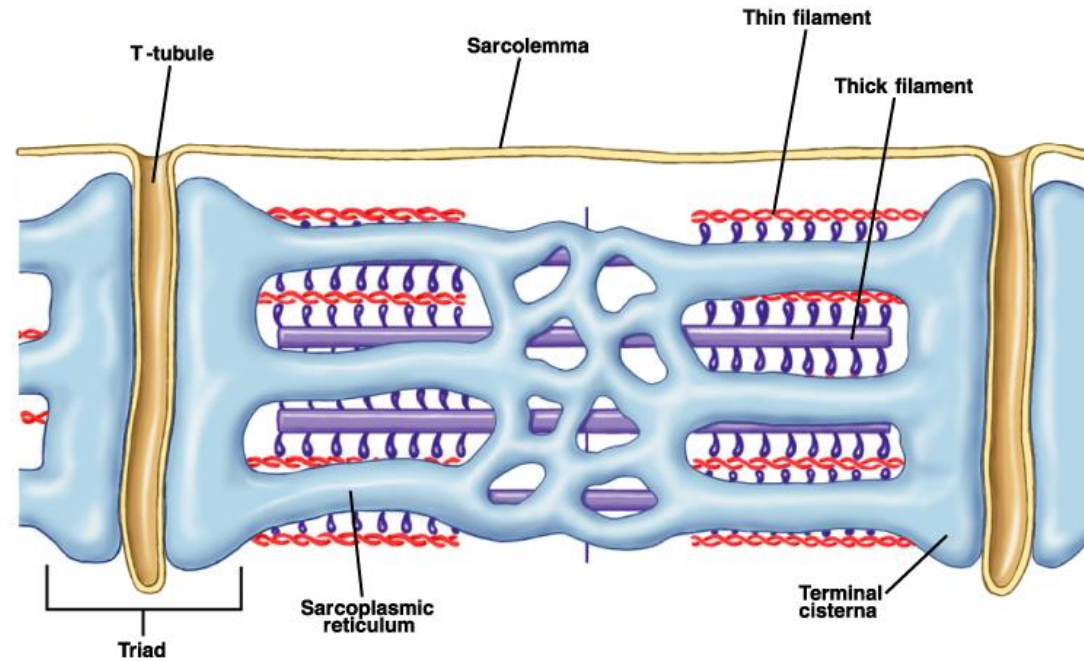


© 2001 Saunders Associates, Inc.

[https://www.google.com.mx/search?q=neuromuscular&biw=1920&bih=979&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKewiPspn8kcnMAhVGwiYKHxjYArwQsAQING#tbn=isch&q=reticulo+sarcoplasmico&imgc=m2tt2py\\_eqoRpM%3A](https://www.google.com.mx/search?q=neuromuscular&biw=1920&bih=979&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKewiPspn8kcnMAhVGwiYKHxjYArwQsAQING#tbn=isch&q=reticulo+sarcoplasmico&imgc=m2tt2py_eqoRpM%3A)

# Sistema nervioso y muscular

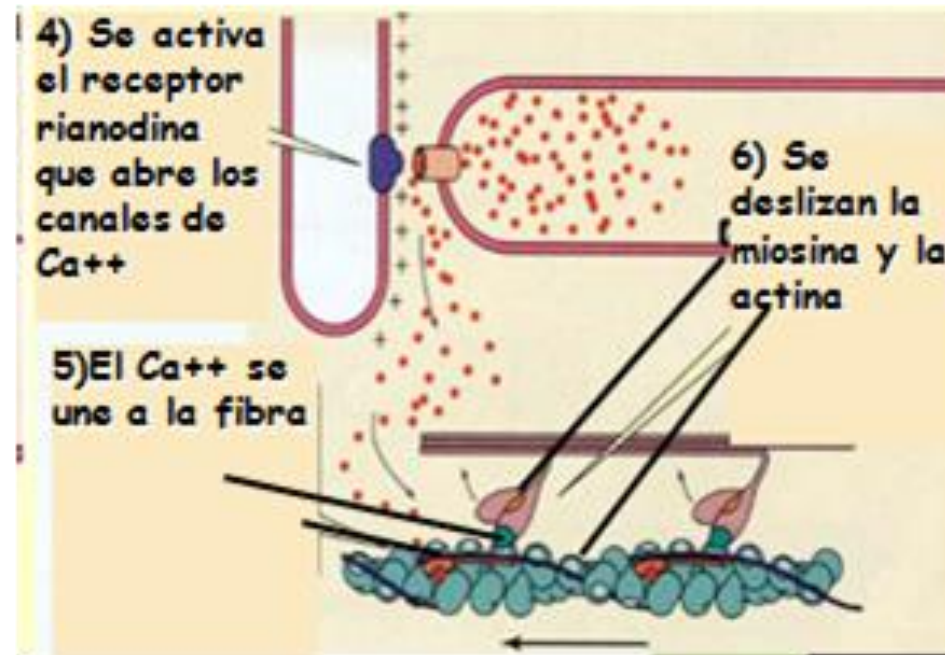
## Moduladores de los receptores de ryanodina



<https://www.google.com.mx/search?q=neuromuscular&biw=1920&bih=979&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKewiPspn8kcnMAhVGwiYKHxjYArwQsAQINg#tbn=isch&q=receptor+ryanodina&imgc=dtm306sKALhruM%3A>

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los receptores de ryanodina



<https://www.google.com.mx/search?q=neuromuscular&biw=1920&bih=979&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&sqj=2&ved=0ahUKEwiPspn8kcnMAhVGwiYKHxjYArwQsAQINg#tbn=isch&q=receptor+ryanodina+insecto&imgc=R1U4EaOeaea0PM%3A>

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los órganos cordotonales: sitio de acción específico no definido

BELEAF = flonicamid

<p><b>29</b>  <b>Chordotonal organ Modulators - undefined target site</b>  Nerve action  (Modulation of chordotonal organ function has been clearly demonstrated, but the specific target protein(s) responsible for biological activity are distinct from Group 9 and remain undefined.)</p>	<p>Flonicamid</p>	<p>Flonicamid</p>
---	-------------------	-------------------

### *Group 29 Chordotonal organ modulators – undefined target site*

Disrupt the function of chordotonal stretch receptor organs, which are critical for the senses of hearing, gravity, balance, acceleration, proprioception and kinesthesia. This disrupts feeding and other behaviors in target insects. In contrast to Group 9, Group 29 insecticides do not bind to the Nan-lav TRPV channel complex.

# Sistema nervioso y muscular

## Moduladores de los canales de cloro gobernados por Glutamato

<p><b>6</b> <b>Glutamate-gated chloride channel (GluCl) allosteric modulators</b></p> <p>Nerve and muscle action</p> <p>{Strong evidence that action at one or more of this class of protein is responsible for insecticidal effects}</p>	<p>Avermectins, Milbemycins</p>	<p>Abamectin, Emamectin benzoate, Lepimectin, Milbemectin</p>
---	-------------------------------------	---

THOR 3.6 EW = abamectina

# Crecimiento y desarrollo

## Mímicos de la hormona juvenil

STONE 100 CE = piriproxyfen

<b>7</b> <b>Juvenile hormone mimics</b>  Growth regulation {Target protein responsible for biological activity is unknown, or uncharacterized}	<b>7A</b> Juvenile hormone analogues	Hydroprene, Kinoprene, Methoprene
	<b>7B</b> Fenoxycarb	Fenoxycarb
	<b>7C</b> Pyriproxyfen	Pyriproxyfen

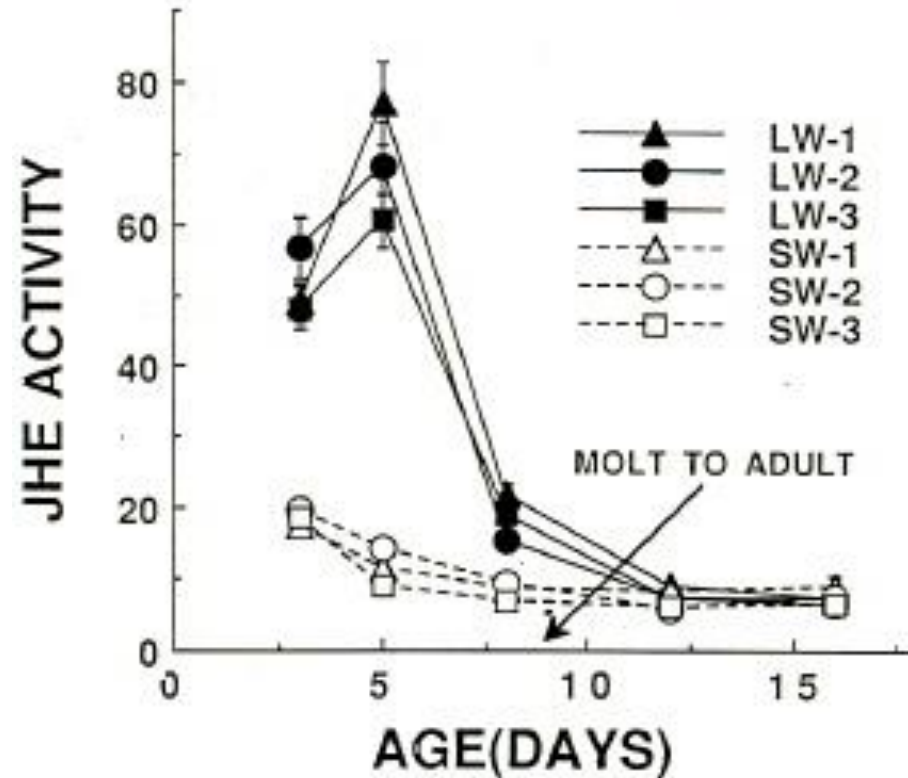
### *Group 7 Juvenile hormone mimics*

Applied in the pre-metamorphic instar, these compounds disrupt and prevent metamorphosis.



# Crecimiento y desarrollo Mímicos de la hormona juvenil

## Hemolymph(blood) JHE Activity



# Mesenterón

## Destrucción de la membrana del mesenterón

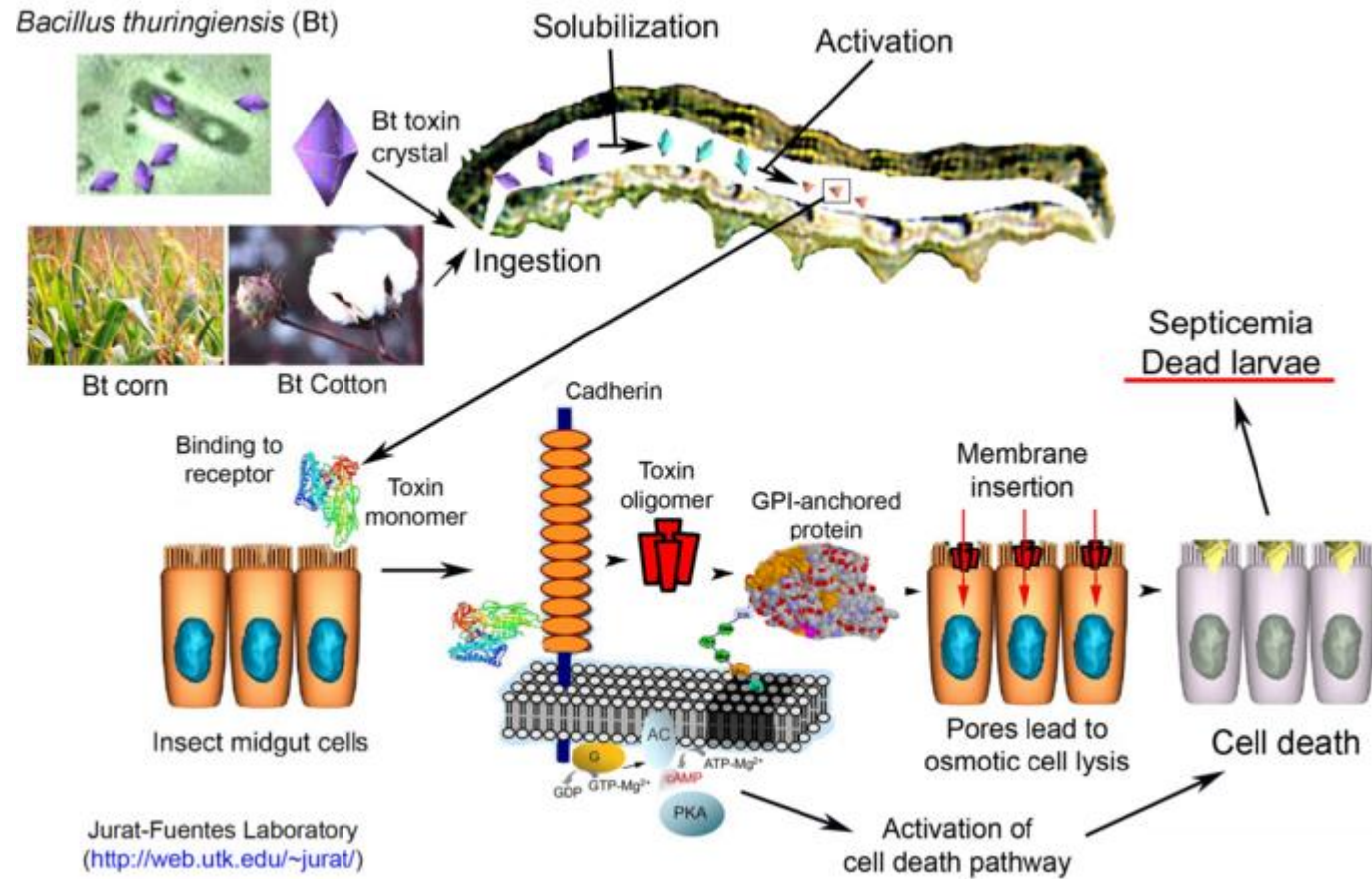
<p><b>11</b>  <b>Microbial disruptors of insect midgut membranes</b></p> <p>(includes transgenic crops expressing <i>Bacillus thuringiensis</i> toxins, however specific guidance for resistance management of transgenic crops is not based on rotation of modes of action)</p>	<p><b>11A</b>  <i>Bacillus thuringiensis</i> and the insecticidal proteins they produce</p>	<p><i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>israelensis</i>  <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>aizawai</i>  <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i>  <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>tenebrionis</i></p> <p><i>B.t.</i> crop proteins: (* Please see footnote)  Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1Fa, Cry1A.105, Cry2Ab, Vip3A, mCry3A, Cry3Ab, Cry3Bb, Cry34Ab1/Cry35Ab1</p>
	<p><b>11B</b>  <i>Bacillus sphaericus</i></p>	<p><i>Bacillus sphaericus</i></p>

*Group 11 Microbial disruptors of insect midgut membranes*

Protein toxins that bind to receptors on the midgut membrane and induce pore formation, resulting in ionic imbalance and septicemia.

# Mesenterón

## Destruyores de la membrana del mesenterón



[https://www.google.com.mx/search?noj=1&biw=1920&bih=979&tbm=isch&sa=1&q=bacillus+thuringiensis+mode+of+action&oq=mode+action+bacillus+thurin&gs\\_l=img.1.0.0i8i30i2.68920.75894.0.78644.29.28.1.0.0.0.112.2563.20j7.27.0...0...1c.1.64.img..1.20.1812...0j0i30j0i19j0i30i19j0i5i30i19j0i5i30.57ufy0Y-4wc#imgdii=w2ZKJPAuq27TAM%3A%3Bw2ZKJPAuq27TAM%3A%3BvyXIQ\\_w9ig0AVM%3A&imgrc=w2ZKJPAuq27TAM%3A](https://www.google.com.mx/search?noj=1&biw=1920&bih=979&tbm=isch&sa=1&q=bacillus+thuringiensis+mode+of+action&oq=mode+action+bacillus+thurin&gs_l=img.1.0.0i8i30i2.68920.75894.0.78644.29.28.1.0.0.0.112.2563.20j7.27.0...0...1c.1.64.img..1.20.1812...0j0i30j0i19j0i30i19j0i5i30i19j0i5i30.57ufy0Y-4wc#imgdii=w2ZKJPAuq27TAM%3A%3Bw2ZKJPAuq27TAM%3A%3BvyXIQ_w9ig0AVM%3A&imgrc=w2ZKJPAuq27TAM%3A)

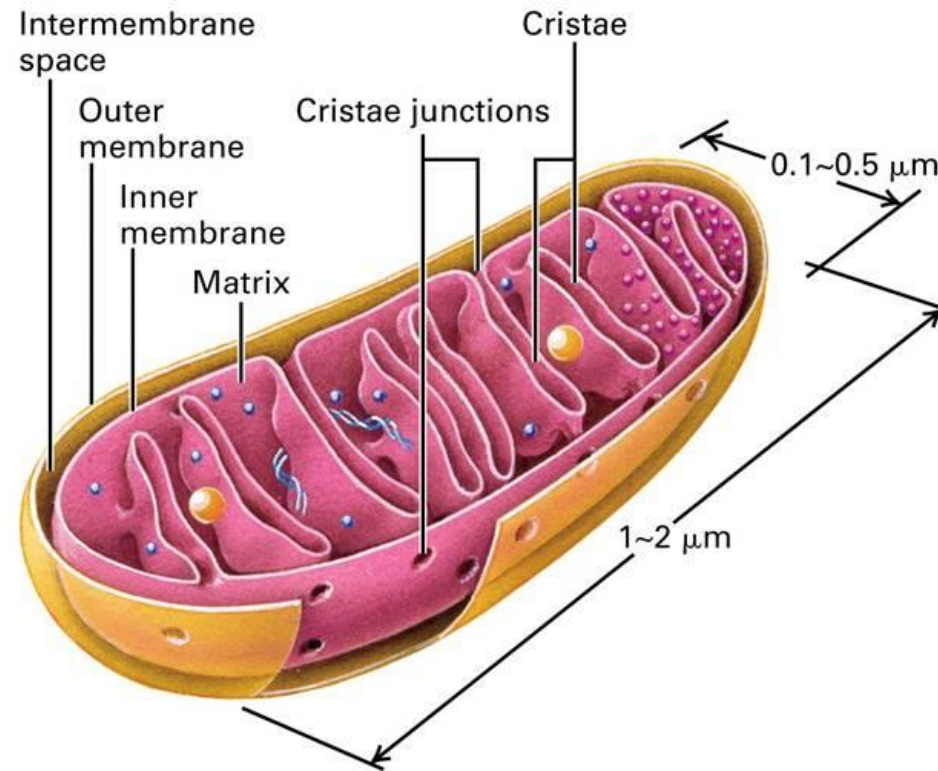
# Crecimiento y desarrollo

## Inhibidores de la biosíntesis de la quitina que afectan la CHS1

<p><b>15</b> <b>Inhibitors of chitin biosynthesis affecting CHS1</b></p> <p>Growth regulation</p> <p>{Strong evidence that action at one or more of this class of proteins is responsible for insecticidal effects }</p>	<p>Benzoylureas</p>	<p>Bistrifluron, Chlorfluazuron, Diflubenzuron, Flucycloxuron, Flufenoxuron, Hexaflumuron, Lufenuron, <b>Novaluron</b>, Noviflumuron, Teflubenzuron, Triflumuron</p>
--	---------------------	--

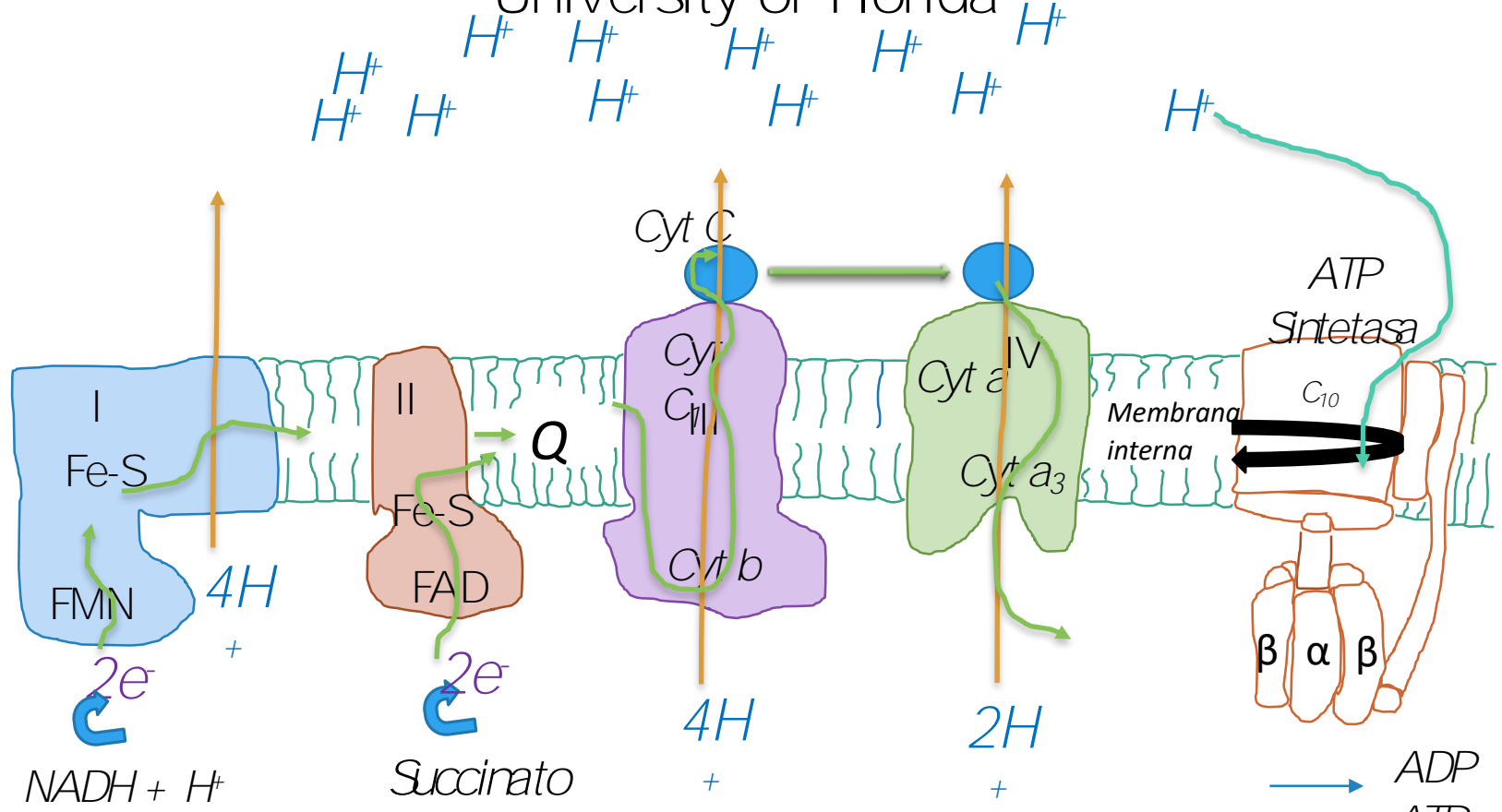
MASSADA 100 CE = Novaluron

# AFECTAN LA RESPIRACIÓN



<https://www.google.com.mx/search?q=mitochondria&biw=1920&bih=979&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwi53cuC0trLAhVikYMKHbovBDcQsAQILQ#imgrc=LIEV0bwBb96VM%3A>

University of Florida



NAD = dinucleótido de nicotinamida y adenina  
FAD = dinucleótido de flavina y adenina  
FMN = mononucleótido de flavina

ADP  
ATP

# Respiración

## Inhibidores del transporte de electrones en el Complejo Mitocondrial I

<b>21</b> <b>Mitochondrial complex I electron transport inhibitors</b>  Energy metabolism {Good evidence that action at this protein complex is responsible for insecticidal effects}	<b>21A</b> METI acaricides and insecticides	Fenazaquin, Fenpyroximate, Pyridaben, Pyrimidifen, Tebufenpyrad, <b>Tolfenpyrad</b>
	<b>21B</b> Rotenone	Rotenone (Derris)

APTA = tolfenpyrad

GRACIAS