

DESENVOLVIMENTO VEGETAL

1. Sinais e receptores

- 1.1. Introdução: sinais, receptores e vias de transdução do sinal
- 1.2. Mensageiros secundários.
- 1.3. Vias de transdução do sinal. Cinases de proteínas
- 1.4. Sinais hormonais associados ao desenvolvimento das plantas Receptores hormonais.
- 1.5. Sinais luminosos, receptores e fotomorfogénese.

2. Efeito da variação dos factores ambientais no desenvolvimento das plantas

- 2.1. Factor luz: Fitocromo, fotomorfogénese e fotoperiodismo.
- 2.2. Factor temperatura: efeito das baixas temperaturas.
- 2.3. Regulação do ciclo vegetativo:
 - 2.3.1. Dominância apical;
 - 2.3.2. Dormência e quebra da dormência;
 - 2.3.3. Senescência e morte celular programada;
 - 2.3.4. Abcisão.

3. Floração

- 3.1. Mudança de fase do meristema apical.
- 3.2. Sinais hormonais, fotoperiodismo reprodutor e vernalização.
- 3.3. Meristema floral e desenvolvimento dos órgãos florais.

- **1. Sinais e receptores**

- 1.1. Introdução: sinais, receptores e vias de transdução do sinal;**

- 1.2. Mensageiros secundários;**

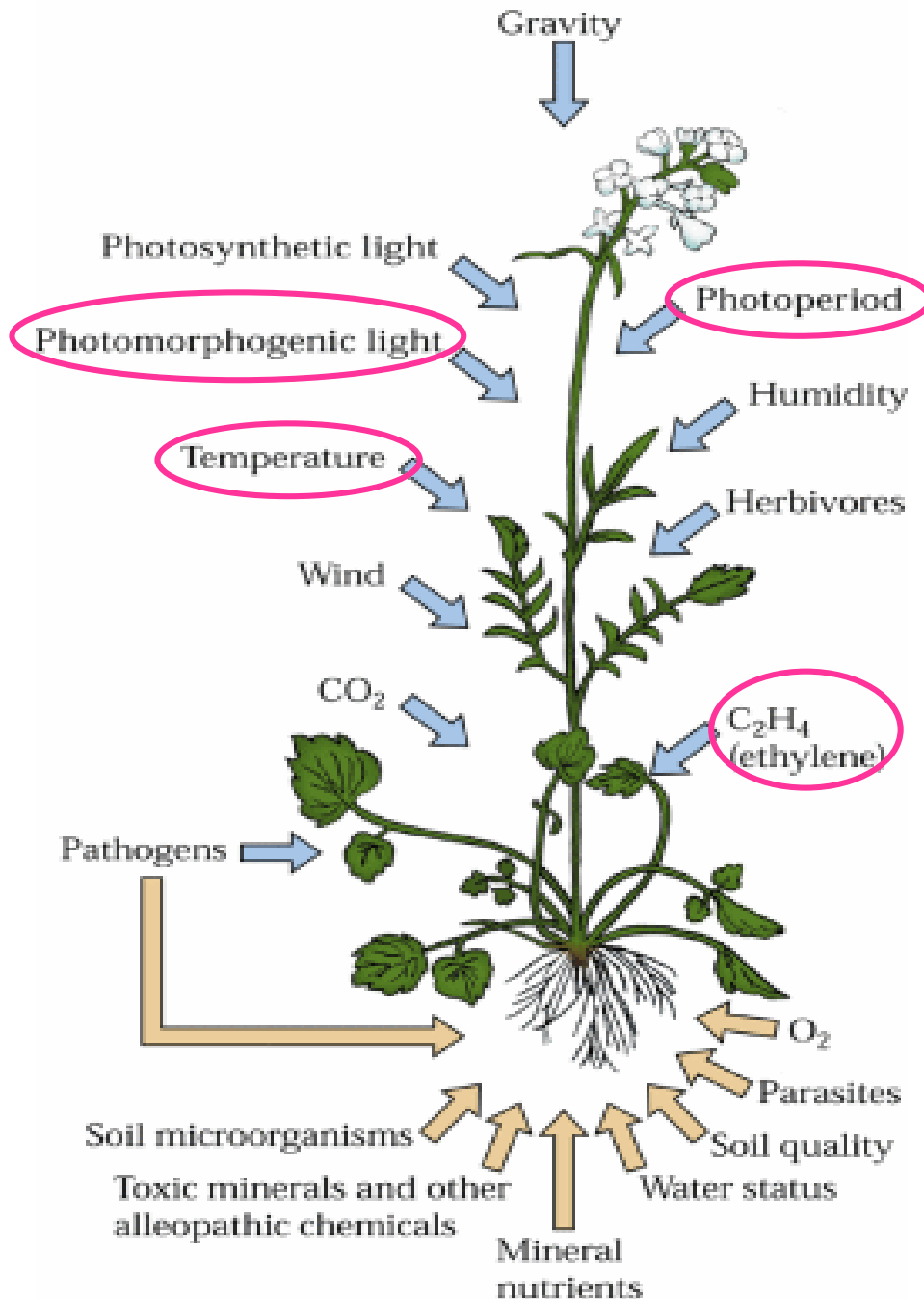
- 1.3. Vias de transdução do sinal. Cinases de proteínas;**

- 1.4. Sinais hormonais associados ao desenvolvimento das plantas. Receptores das hormonas;**

- 1.5. Sinais luminosos, receptores e fotomorfogénese.**

Sinais externos que afectam o desenvolvimento das plantas

Exceptuando os sinais gravitrópicos, todos os outros sinais podem mudar de intensidade ao longo do tempo.



Revisão

Níveis de regulação da expressão génica

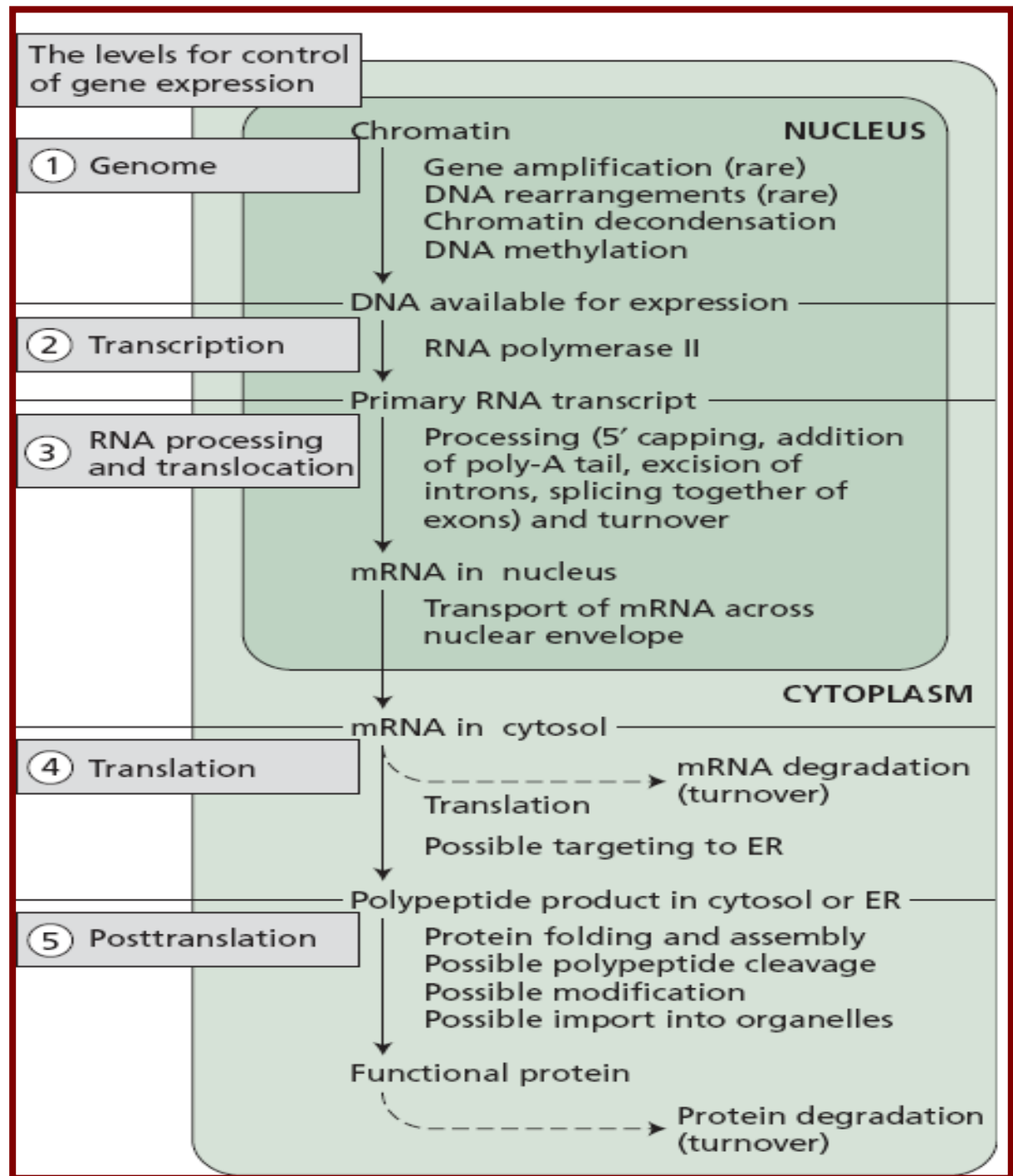
1- Genoma

2-Transcrição

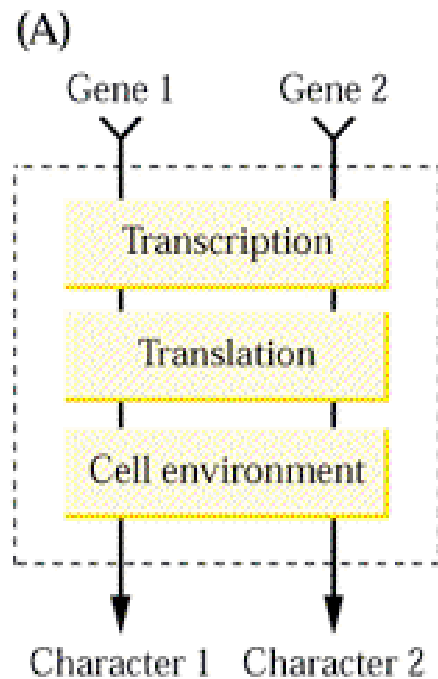
3-Processamento de RNA e sua translocação para o citoplasma

4-Tradução

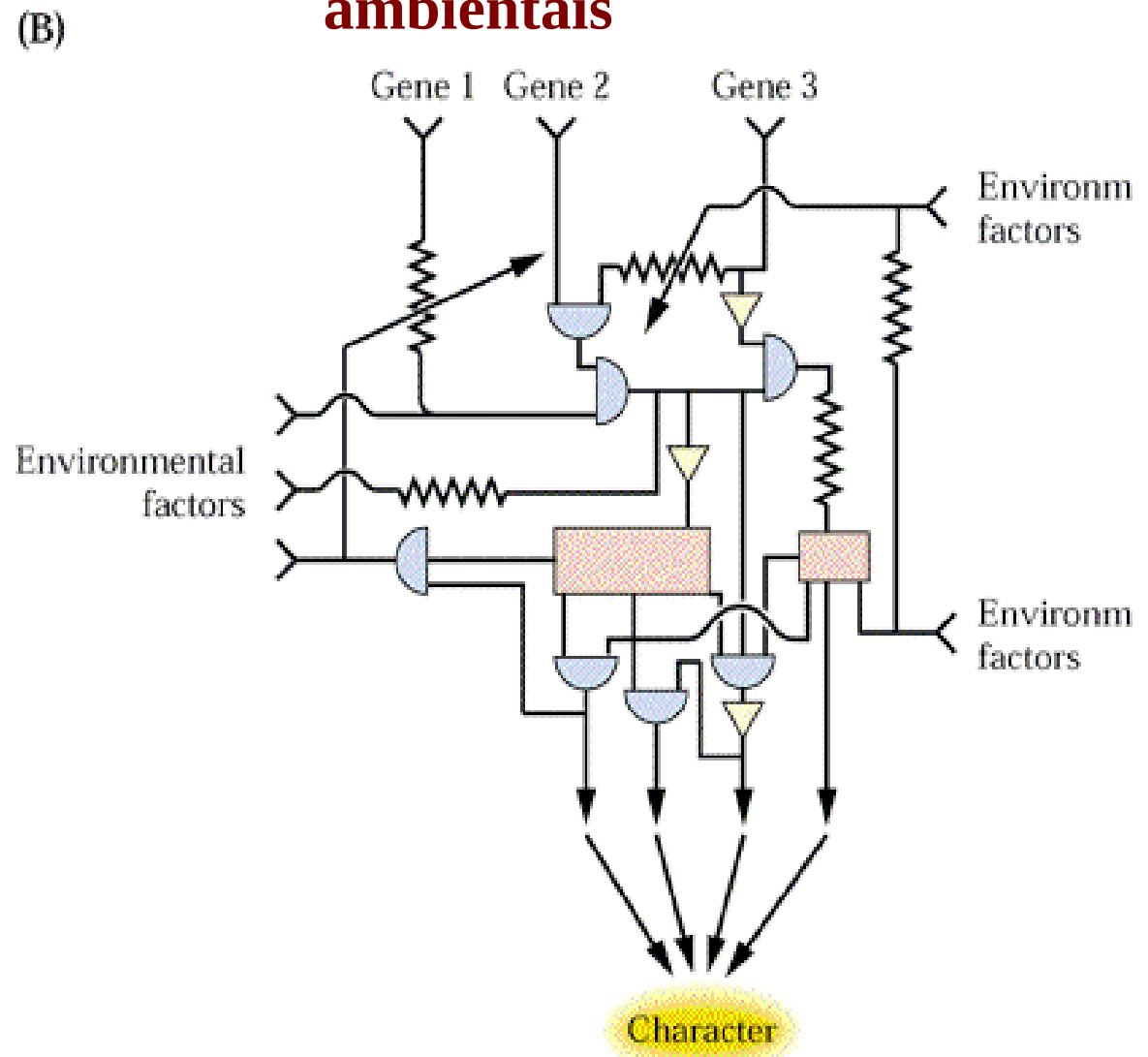
5-Alteração proteica pós-tradução



(A) Relação entre a expressão de um gene e o carácter fenotípico, sem influência dos factores ambientais

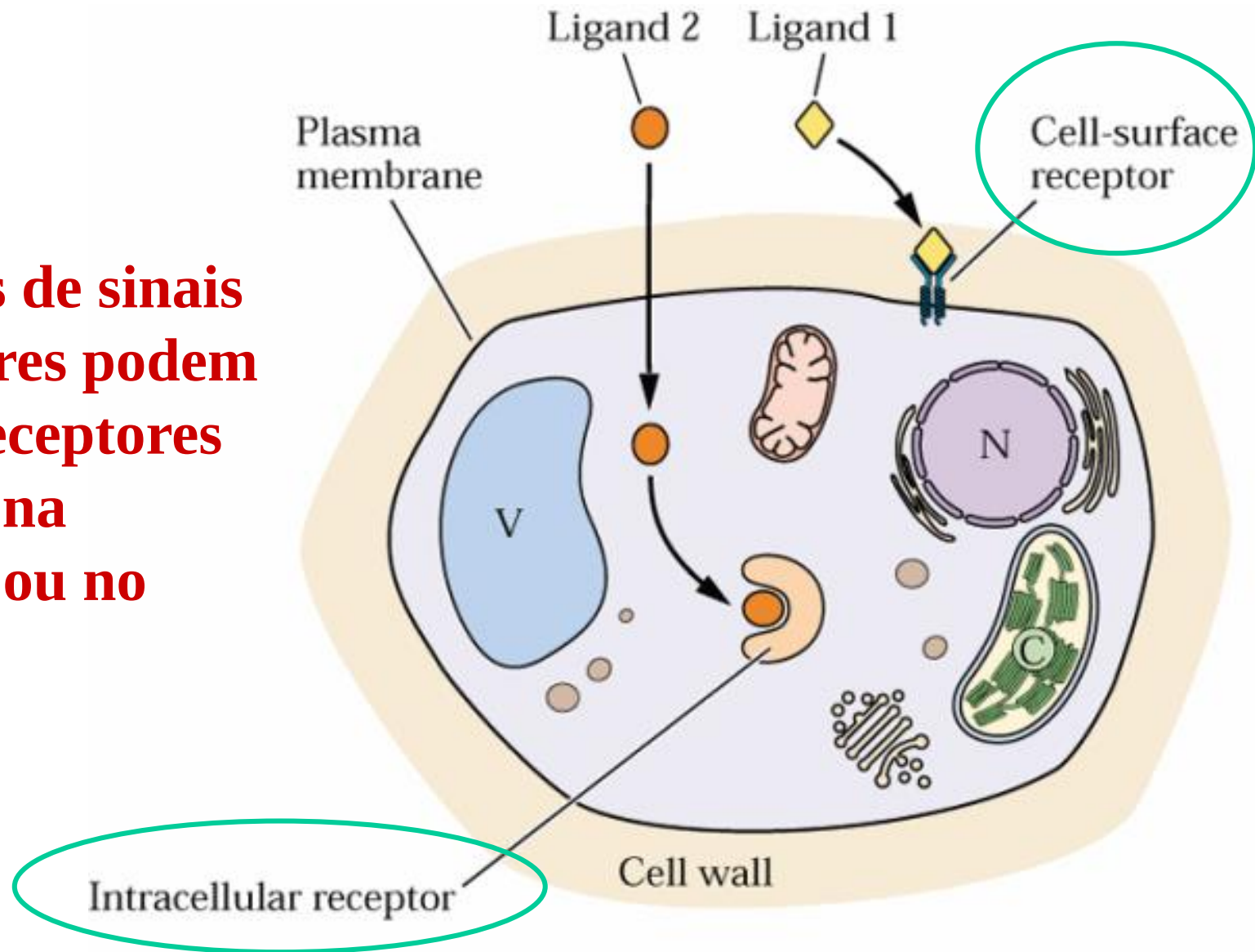


(B) Informação epigenética: o carácter fenotípico resulta de interacções complexas entre um ou mais genes e influências ambientais



Sinais extracelulares, receptores e vias de transdução do sinal

Os ligandos de sinais extracelulares podem ligar-se a receptores localizados na membrana ou no citoplasma.

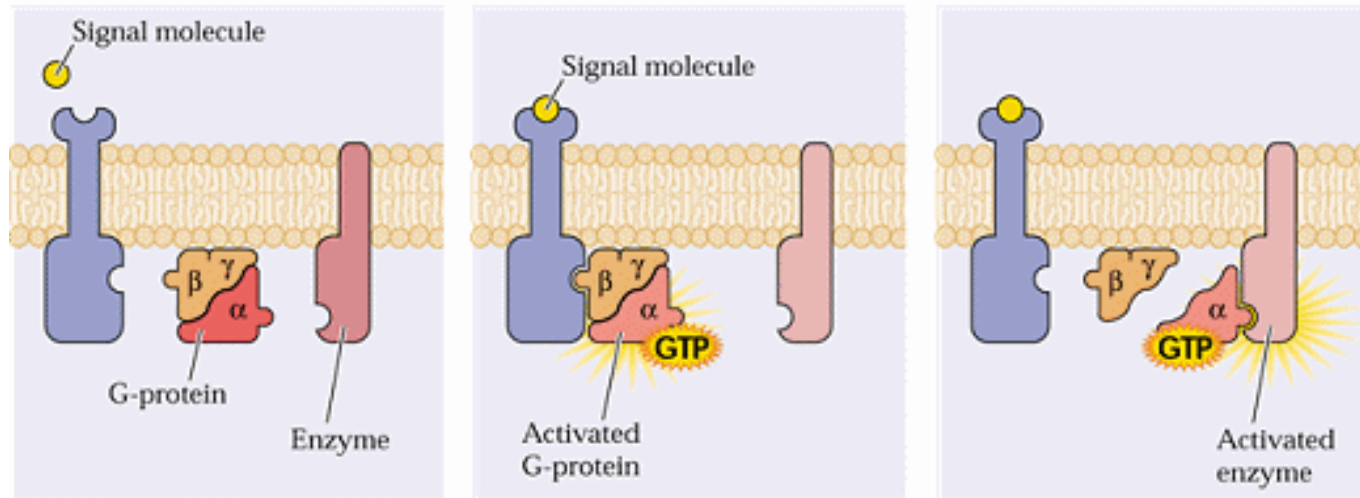


Moléculas hidrofílicas (por exemplo, péptidos, hidratos de carbono) não atravessam a membrana e ligam-se a receptores da superfície celular.

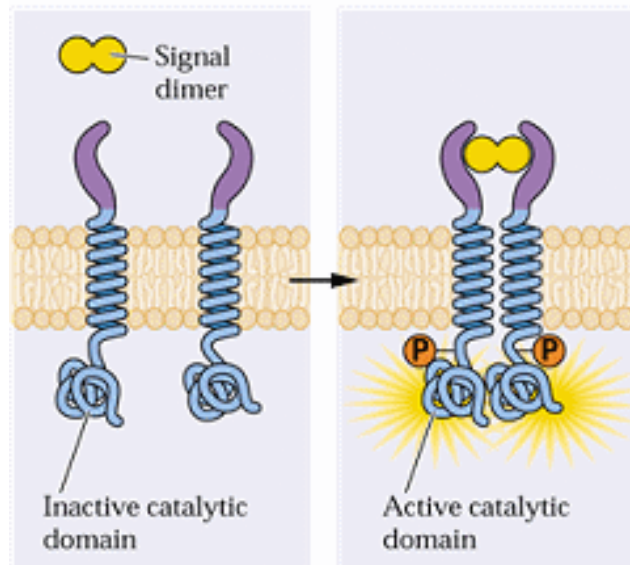
Moléculas hidrofóbicas (por exemplo, a hormona ácido abscísico) atravessam a membrana podendo ligar-se a receptores à superfície ou no interior da célula.

Receptores e vias de transdução do sinal

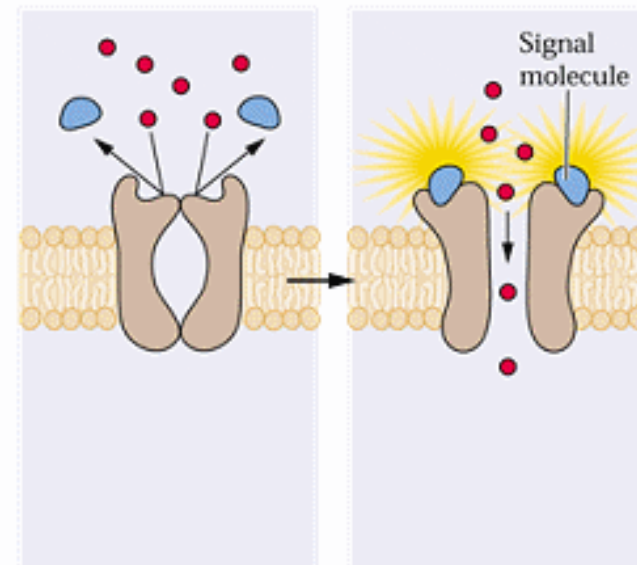
(A) G-protein-linked receptor



(B) Enzyme-linked receptor



(C) Ion channel-linked receptor

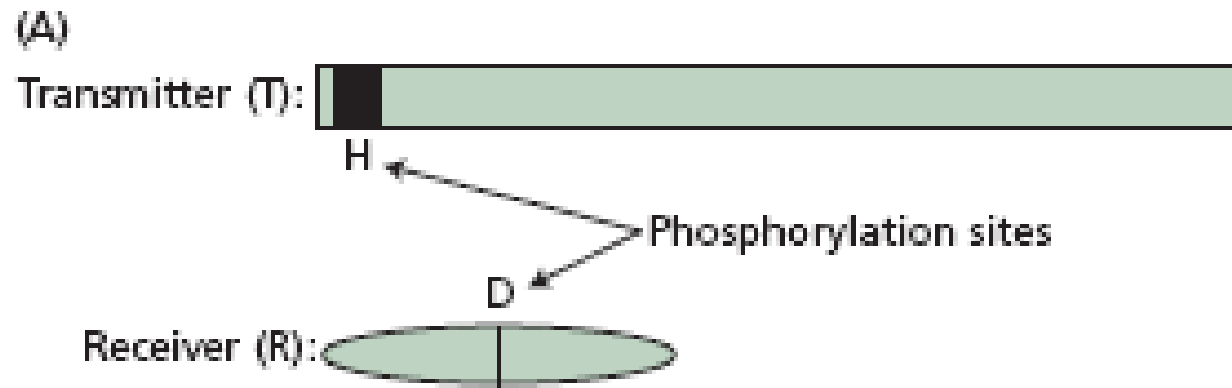


Descrevem-se três classes de receptores de membrana animais

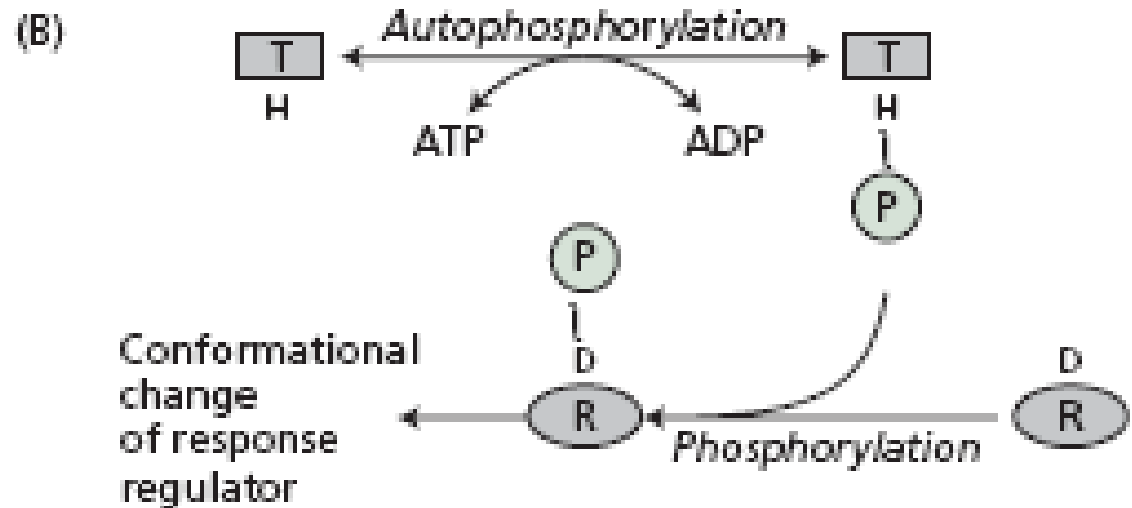
- A - Os receptores com ligação a proteína G quando são activados transferem a informação para uma proteína que se liga a GTP na primeira fase da transdução. O complexo formado pela sub-unidade α da proteína G/GTP separa-se das sub-unidades β/γ e, no citoplasma, pode activar outras enzimas. (Ver Figura anterior)
- B - Receptores associados a enzimas são, normalmente, cinases proteicas. A ligação do ligando (sinal) leva à dimerização do receptor e sua fosforilação intermolecular, com activação do receptor.
- C - Receptores de tipo canais iónicos devem estar associados a canais importantes da superfície celular que abrem quando o receptor fica ocupado.

Mecanismo bacteriano de transdução do sinal por fosforilação (Sistema de dois componentes)

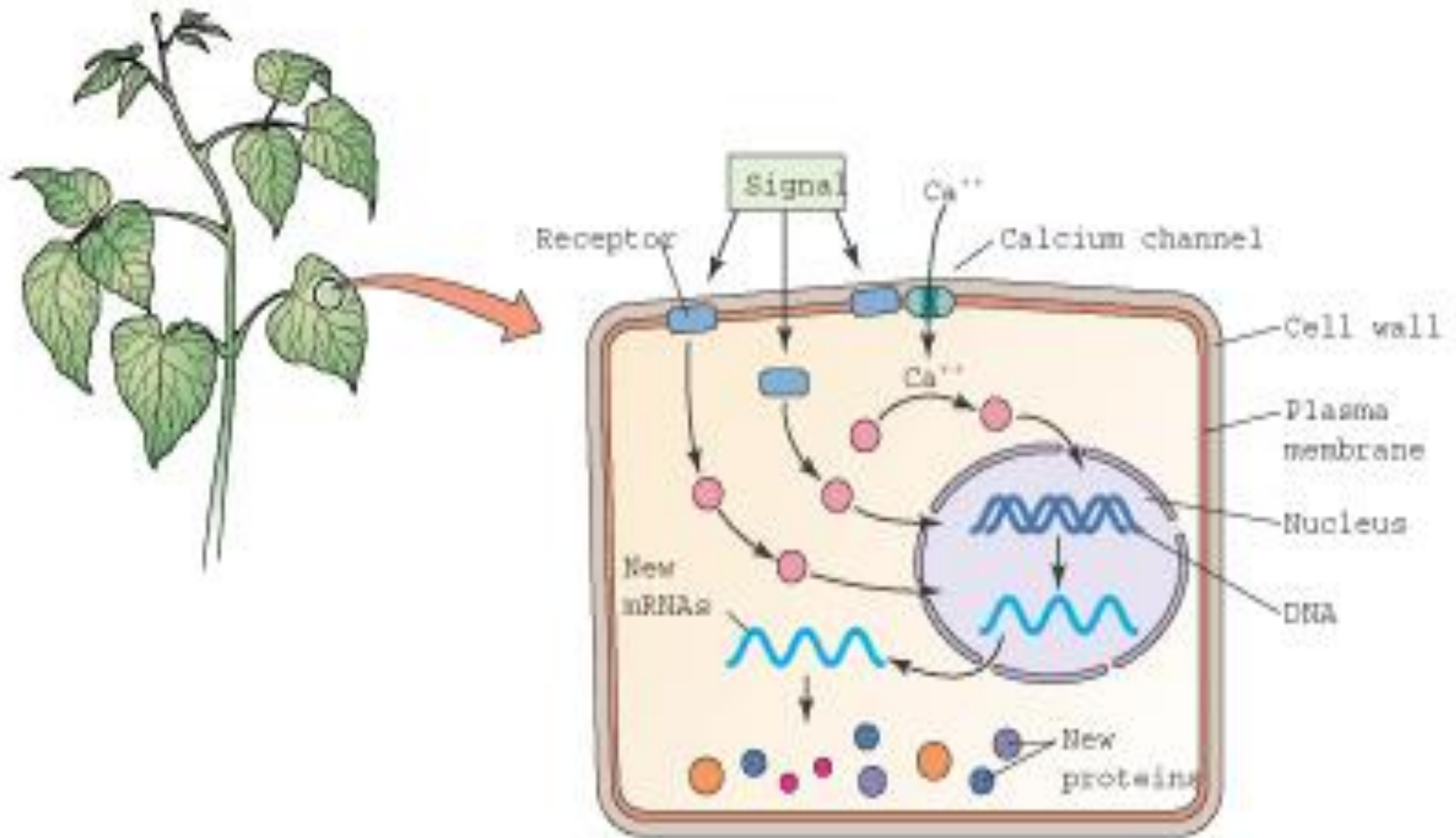
A - O domínio transmissor (T) da proteína sensora possui um histidina (H) e a proteína receptora (R) possui um aspartato (D).



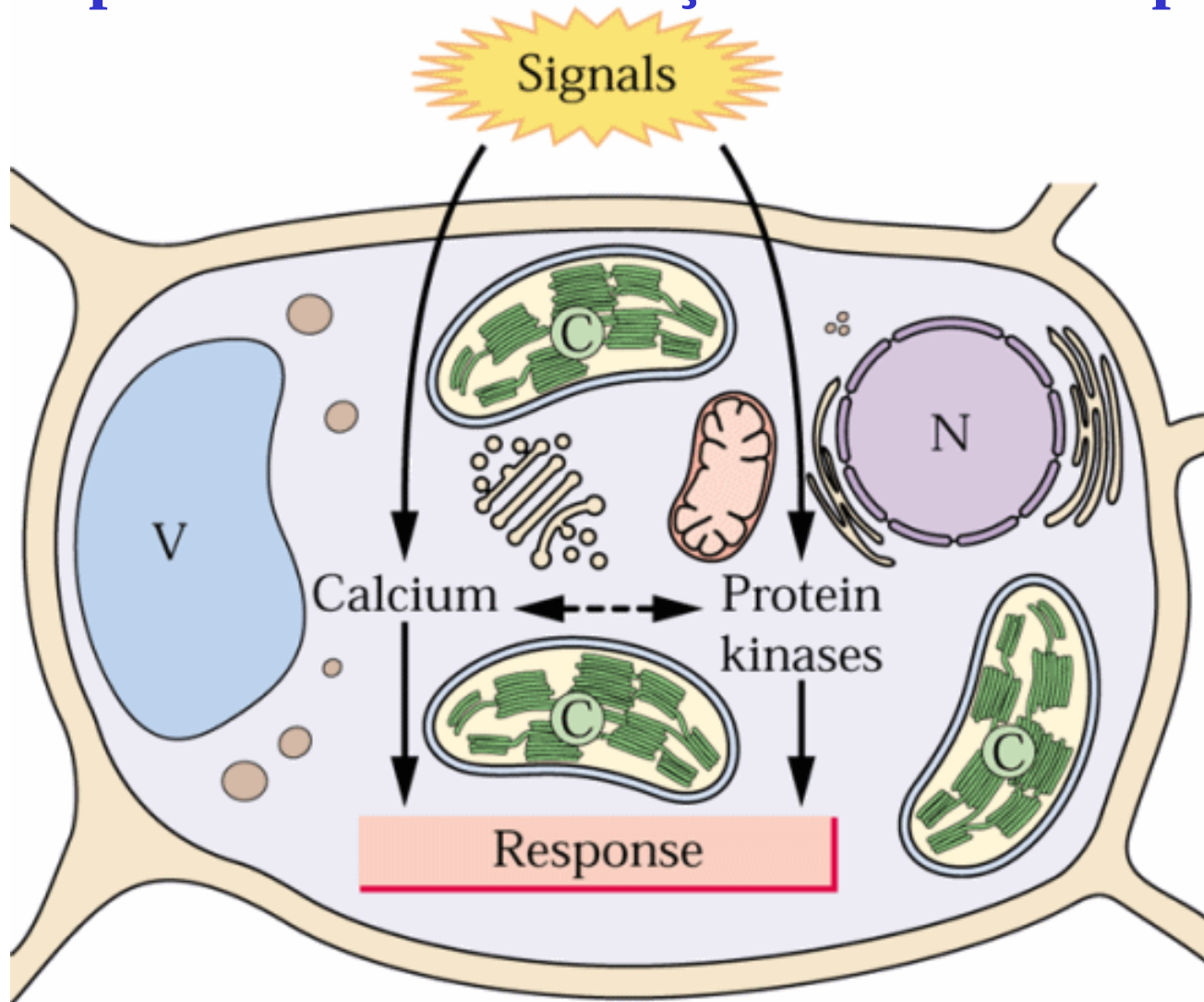
B - O domínio transmissor autofosforila H e transfere o grupo fosfato para D. A proteína R desencadeia a resposta.



Transdução do sinal nas células vegetais



Principais vias de transdução do sinal nas plantas



Proteína-cinases dependentes do cálcio, que são muito comuns nas células das plantas, estabelecem a conexão entre as duas vias de transdução (seta a tracejado)

Transdução do sinal nas células vegetais

Sinal: luz, hormona, outra molécula,...

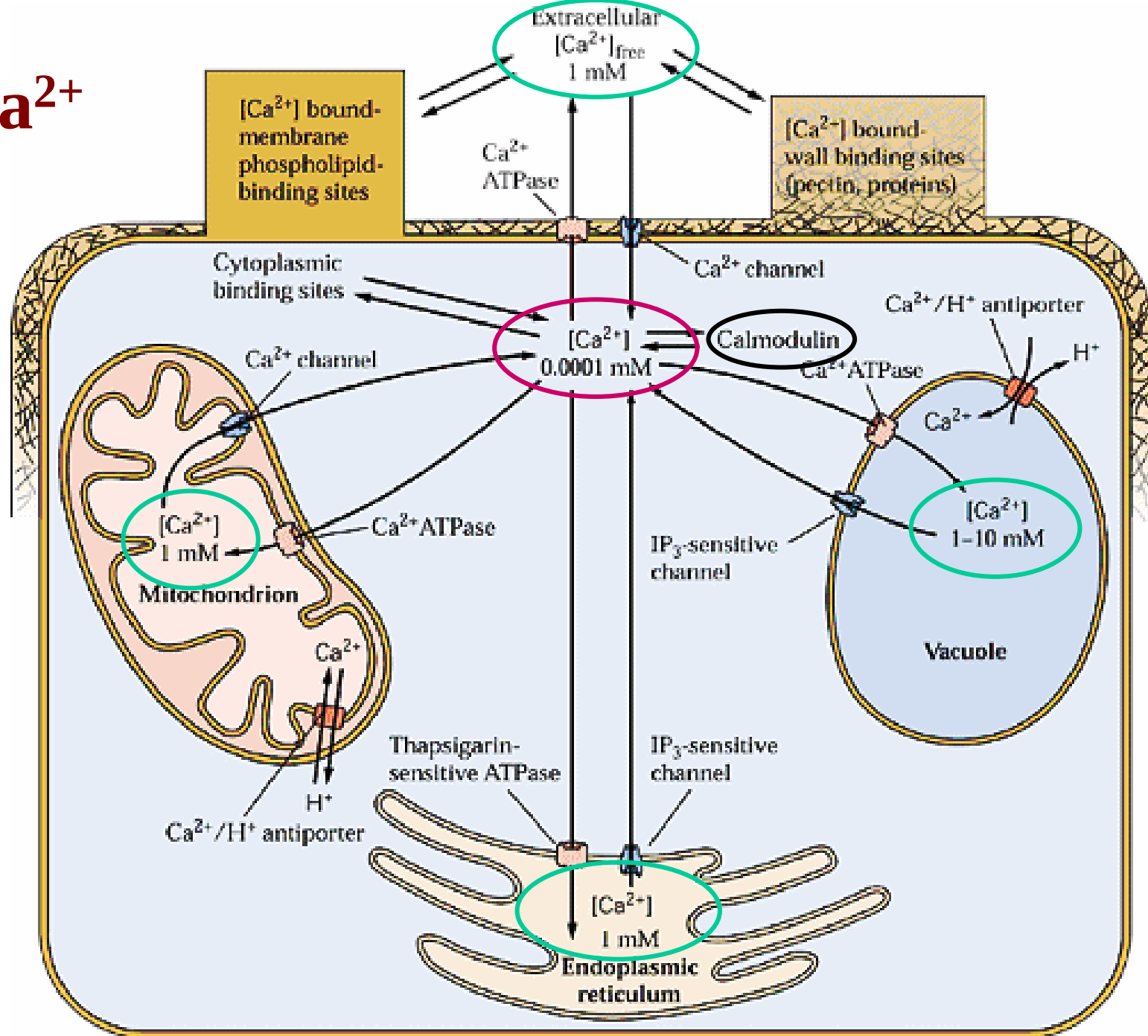
Receptores: o sinal (ligando) reage com receptores da membrana ou do citoplasma

Mensageiro secundário: amplificação do sinal (p. ex., a abertura de canais permite o influxo de Ca^{2+})

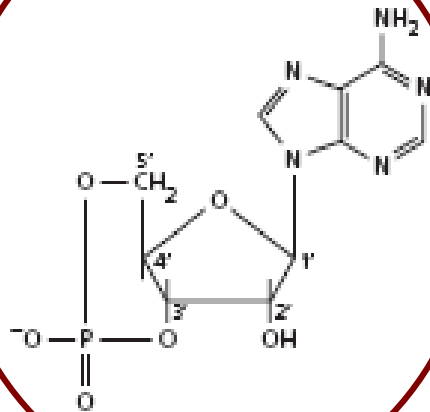
Reacções em cascata: sequência de reacções em cadeia com um produto final que atinge o núcleo, há activação de genes, síntese *de novo* de mRNA e de proteínas

1. 2. Mensageiros secundários

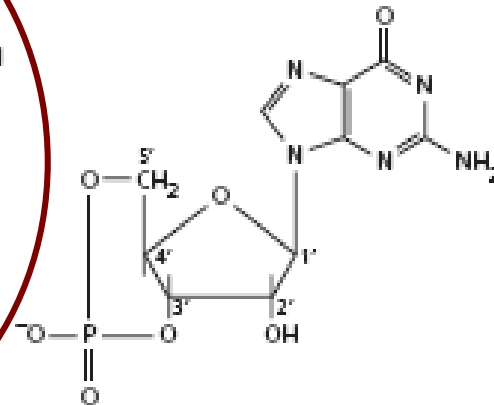
Ca²⁺



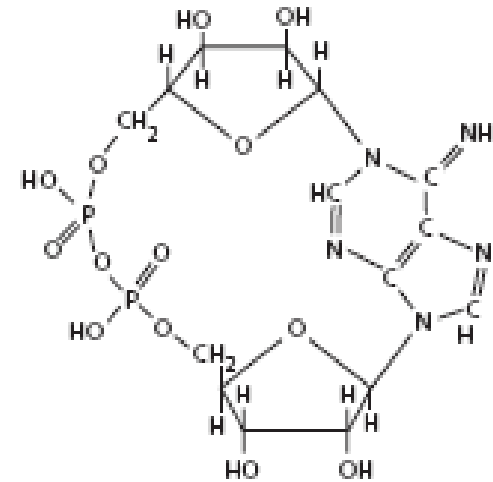
Estrutura de 7 mensageiros secundários



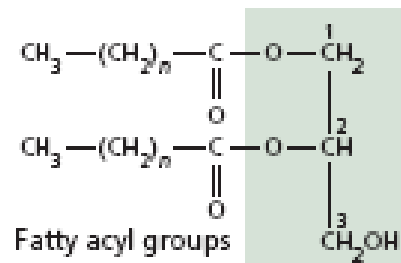
3',5'-Cyclic AMP



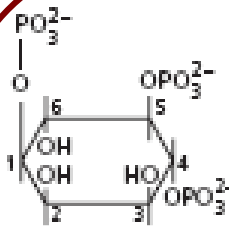
3',5'-Cyclic GMP



Cyclic ADP-Ribose (cADPR)



Fatty acyl groups
Glycerol
1,2-Diacylglycerol



Inositol
1,4,5-trisphosphate



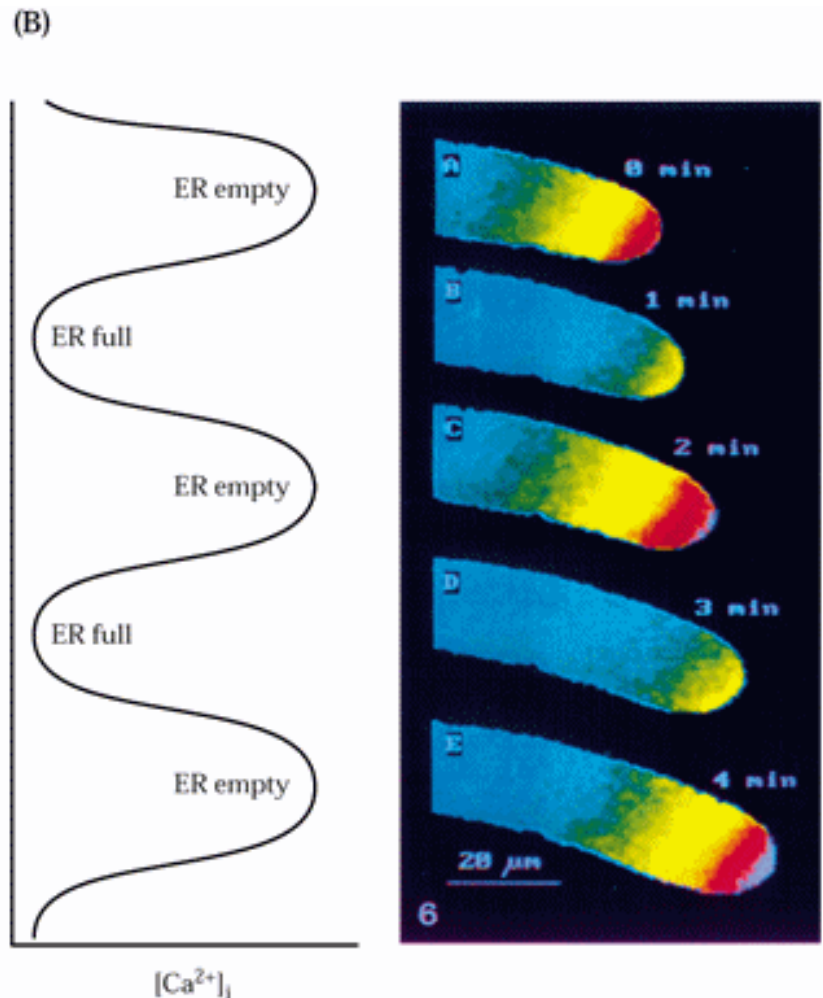
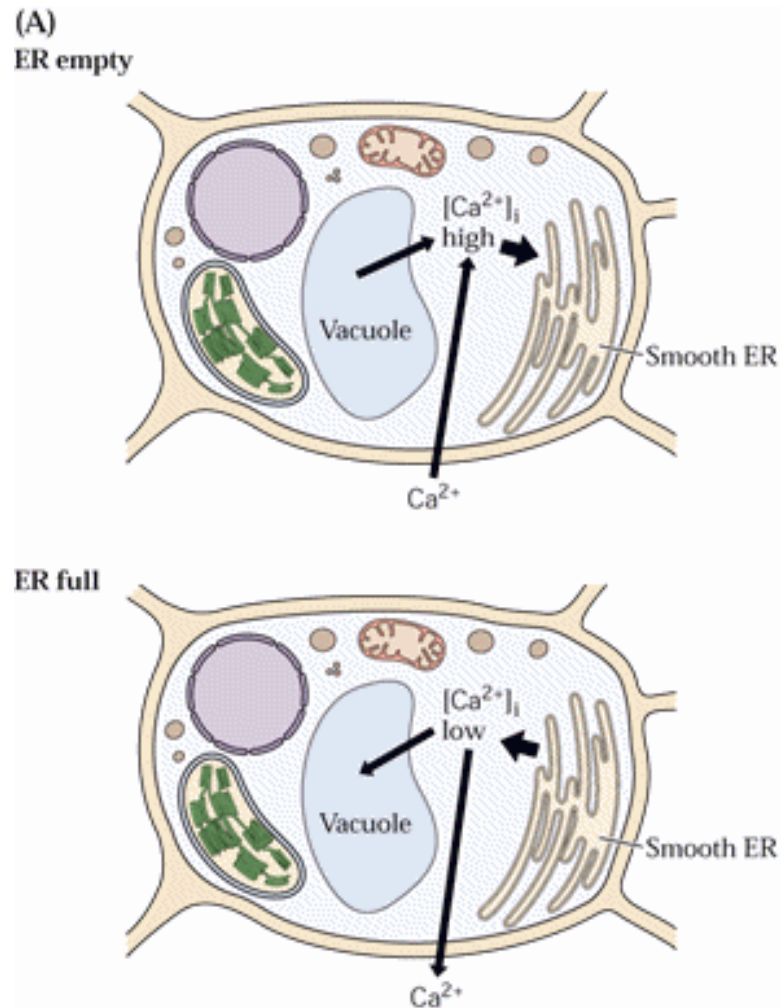
Nitric oxide



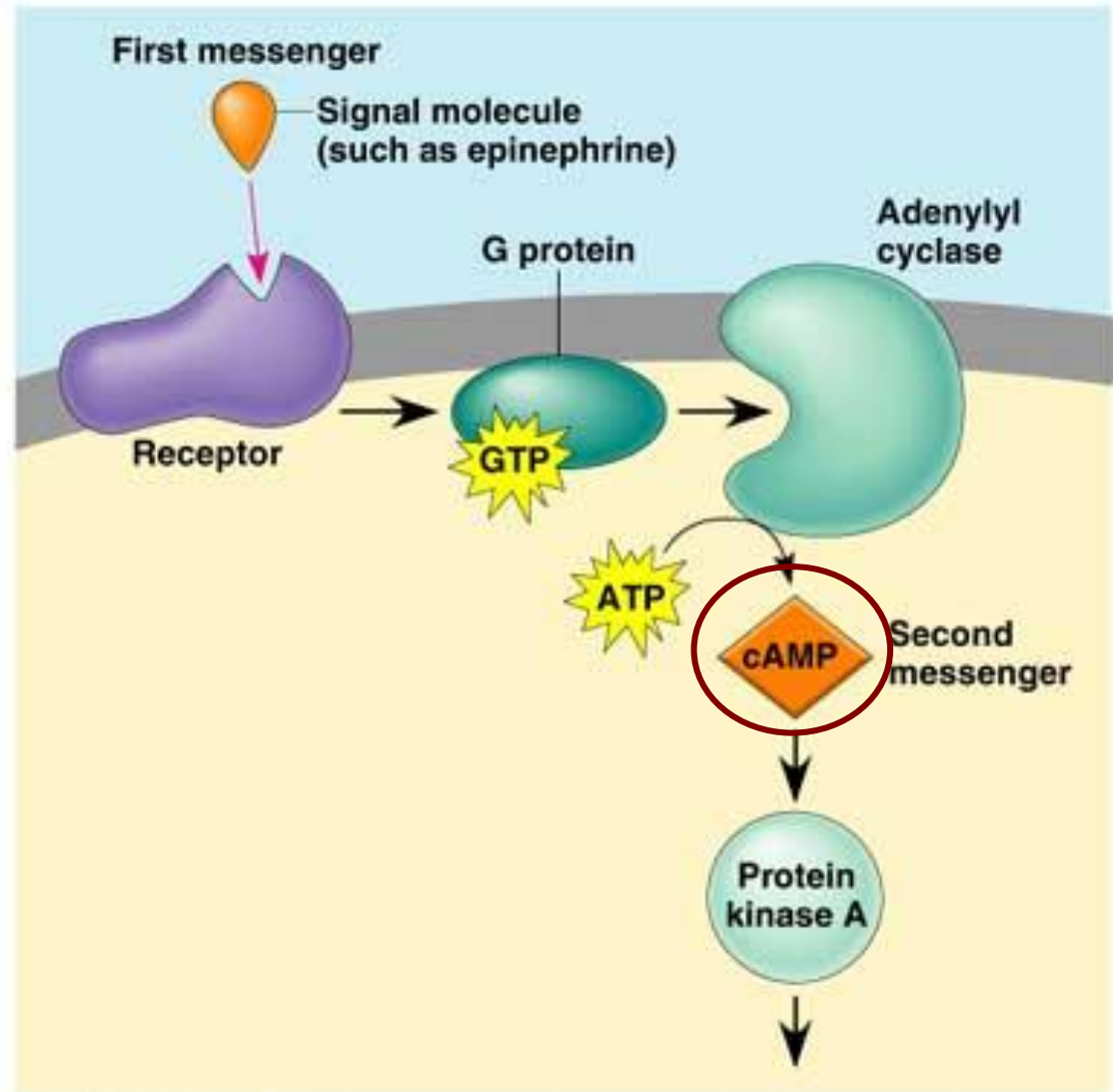
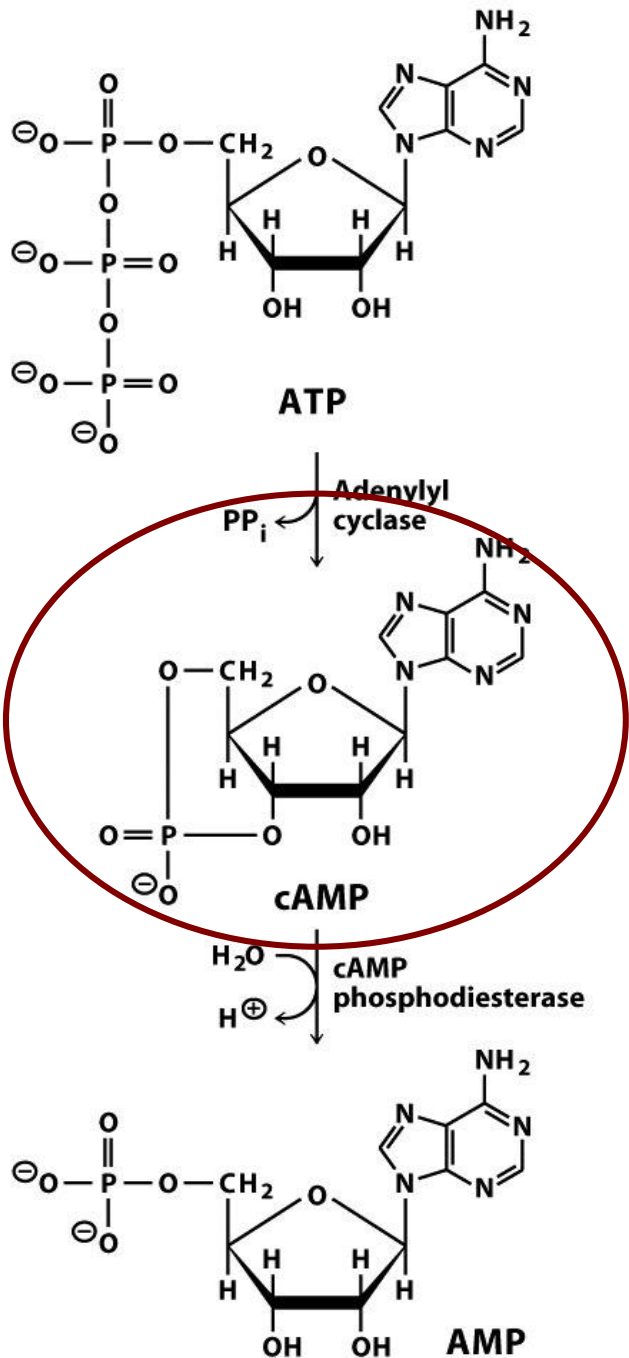
Calcium ion

As oscilações de $[Ca^{2+}]$ do citosol pode resultar de uma entrada e saída das reservas de Ca^{2+} do ER.

Imagens de fluorescência que mostram as oscilações de $[Ca^{2+}]_i$ que acompanham o crescimento do tubo polínico.



cAMP

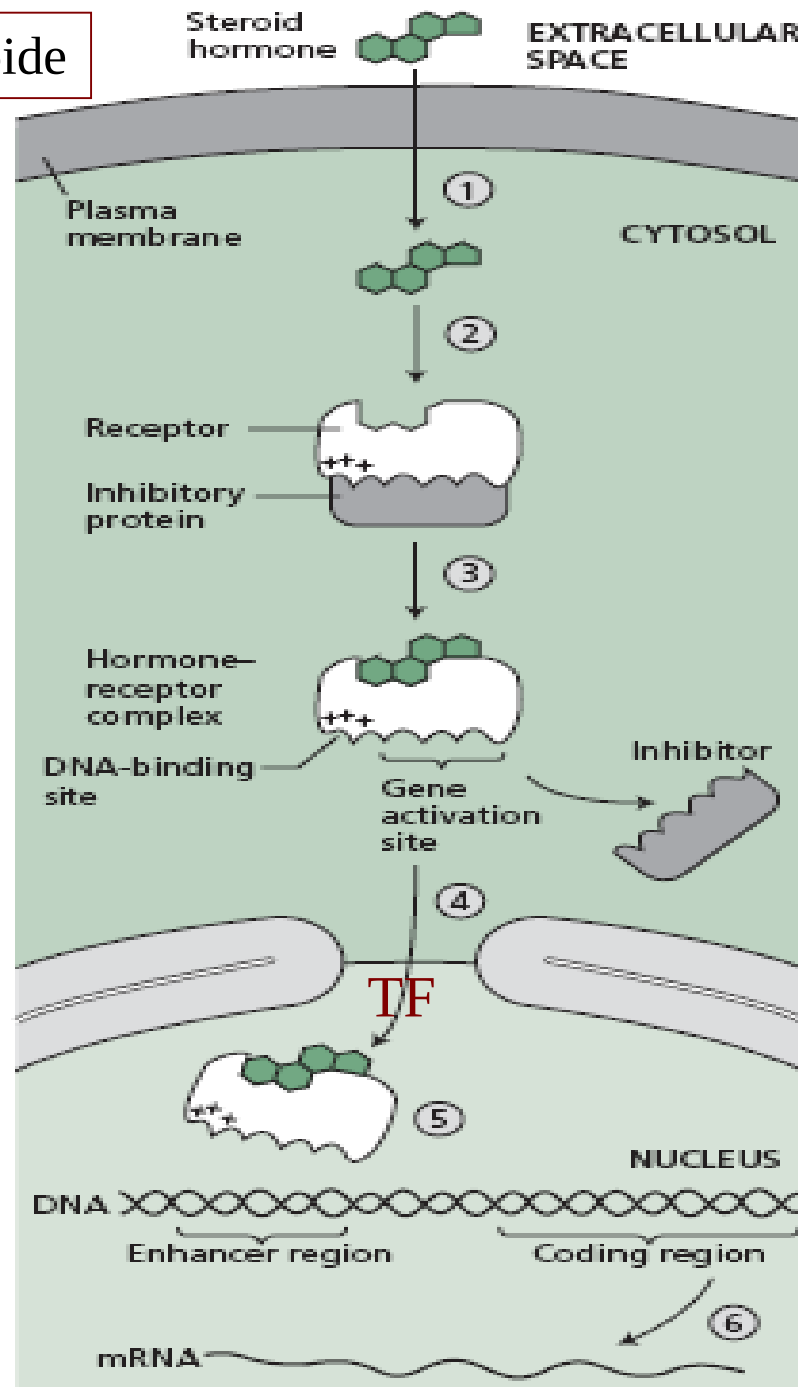


©1999 Addison Wesley Longman, Inc.

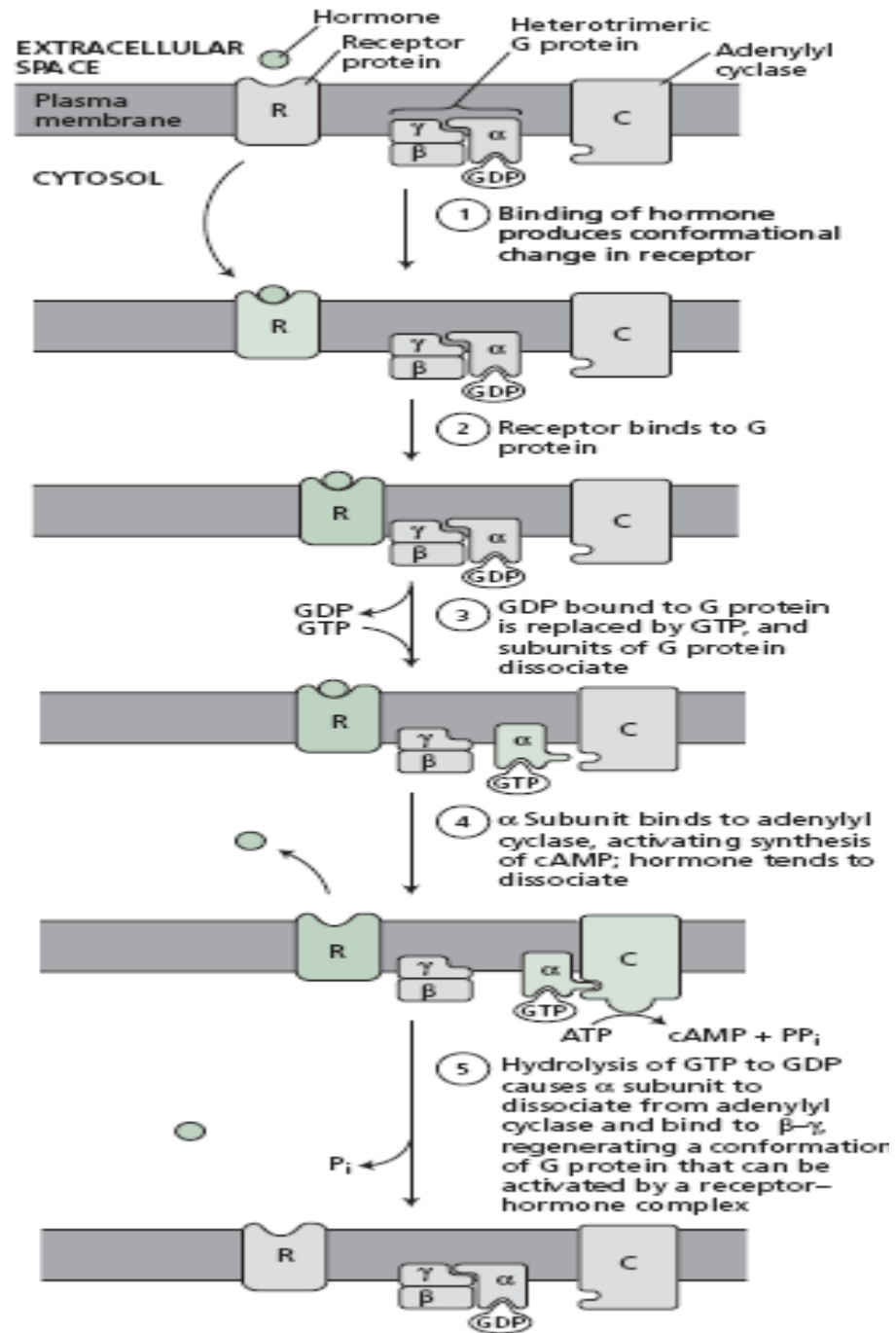
1.3. Vias de transdução de sinal.

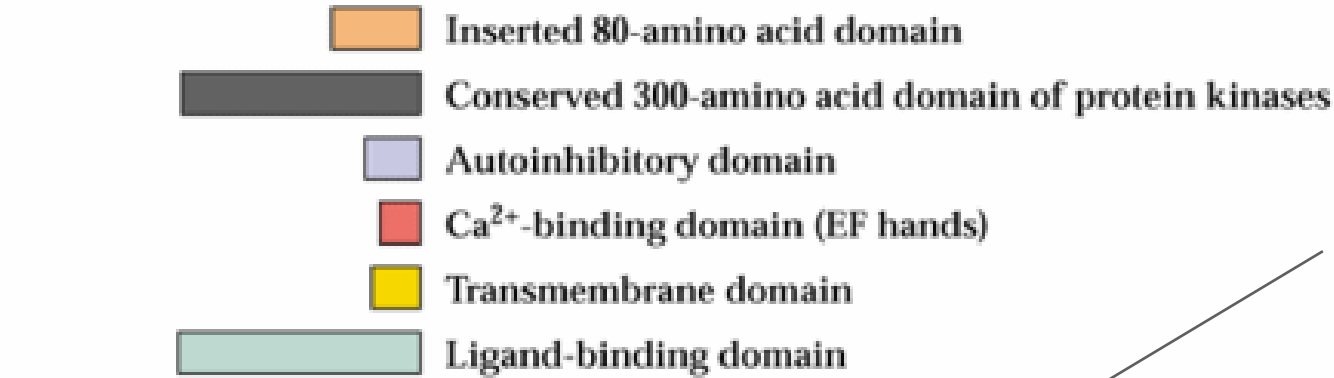
Cinases de proteínas

Hormona glucocorticóide

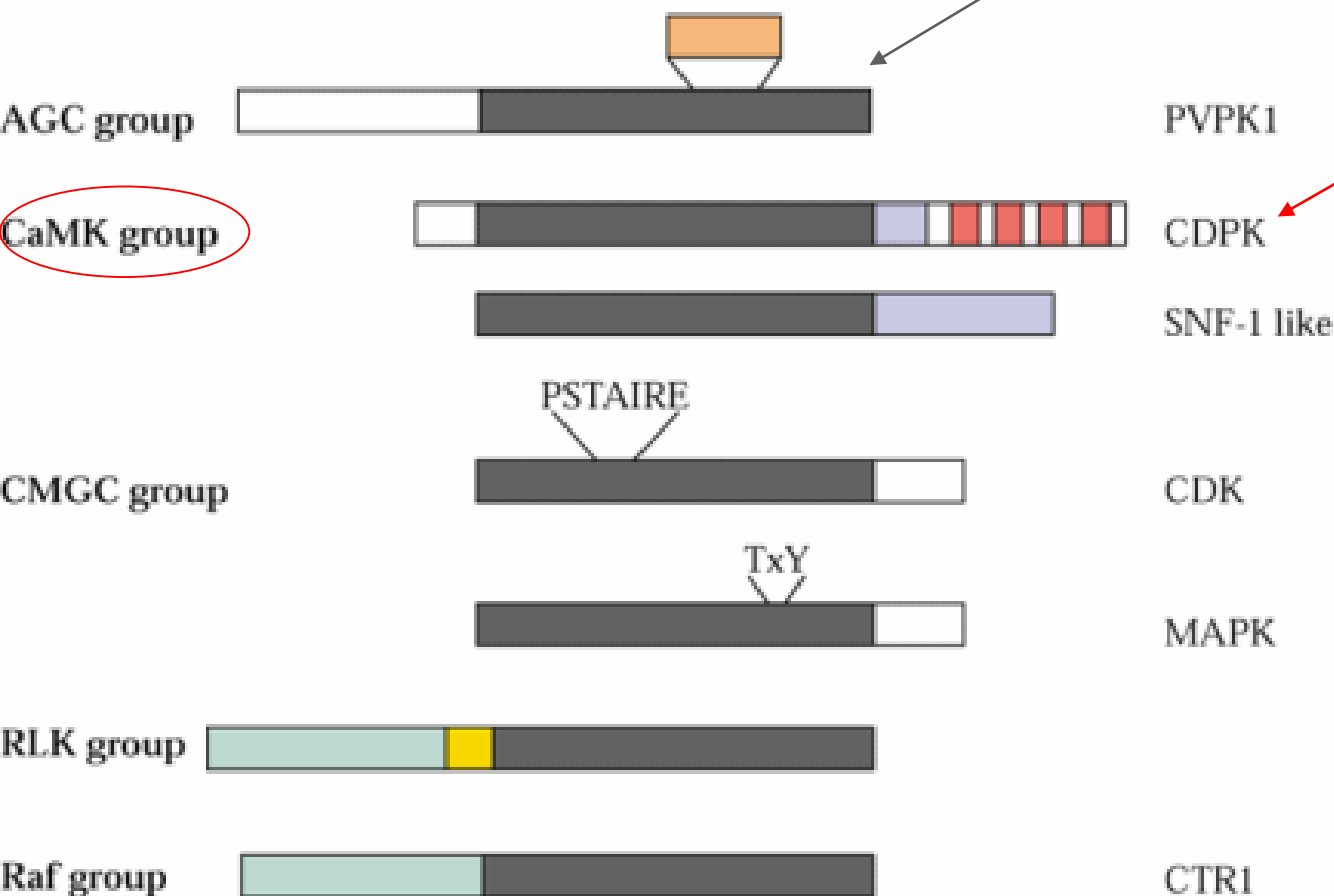


Activação da enzima
adenilato ciclase pela sub-
unidade alfa da proteína G.



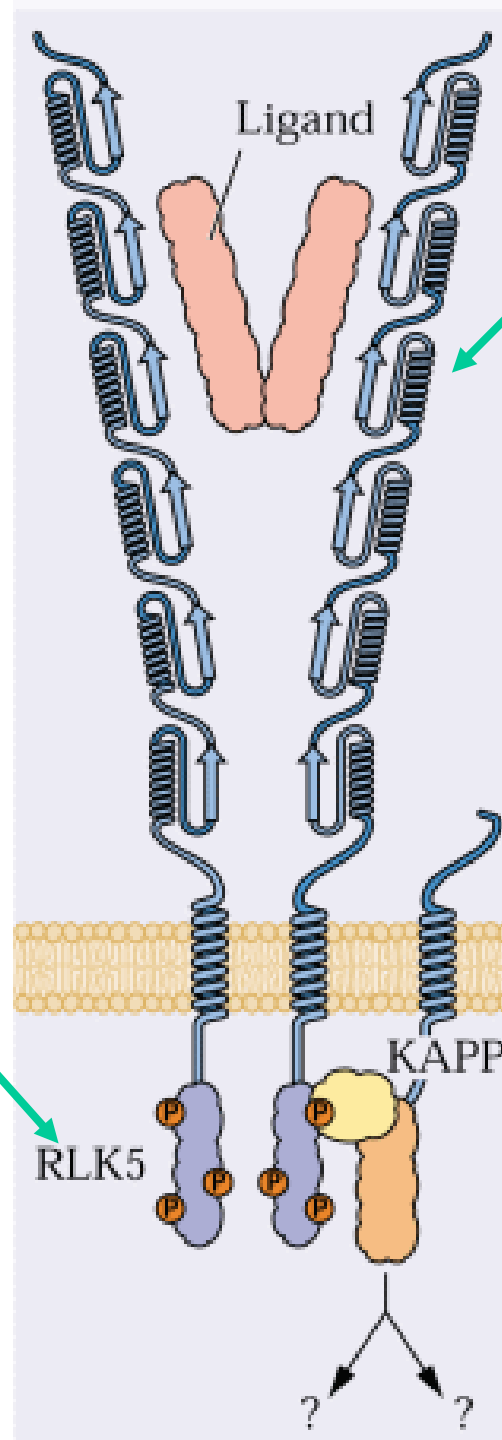


Proteínas cinases (PK) das **plantas**. O **domínio catalítico** da maior parte das PKs consiste numa região de 300 aa

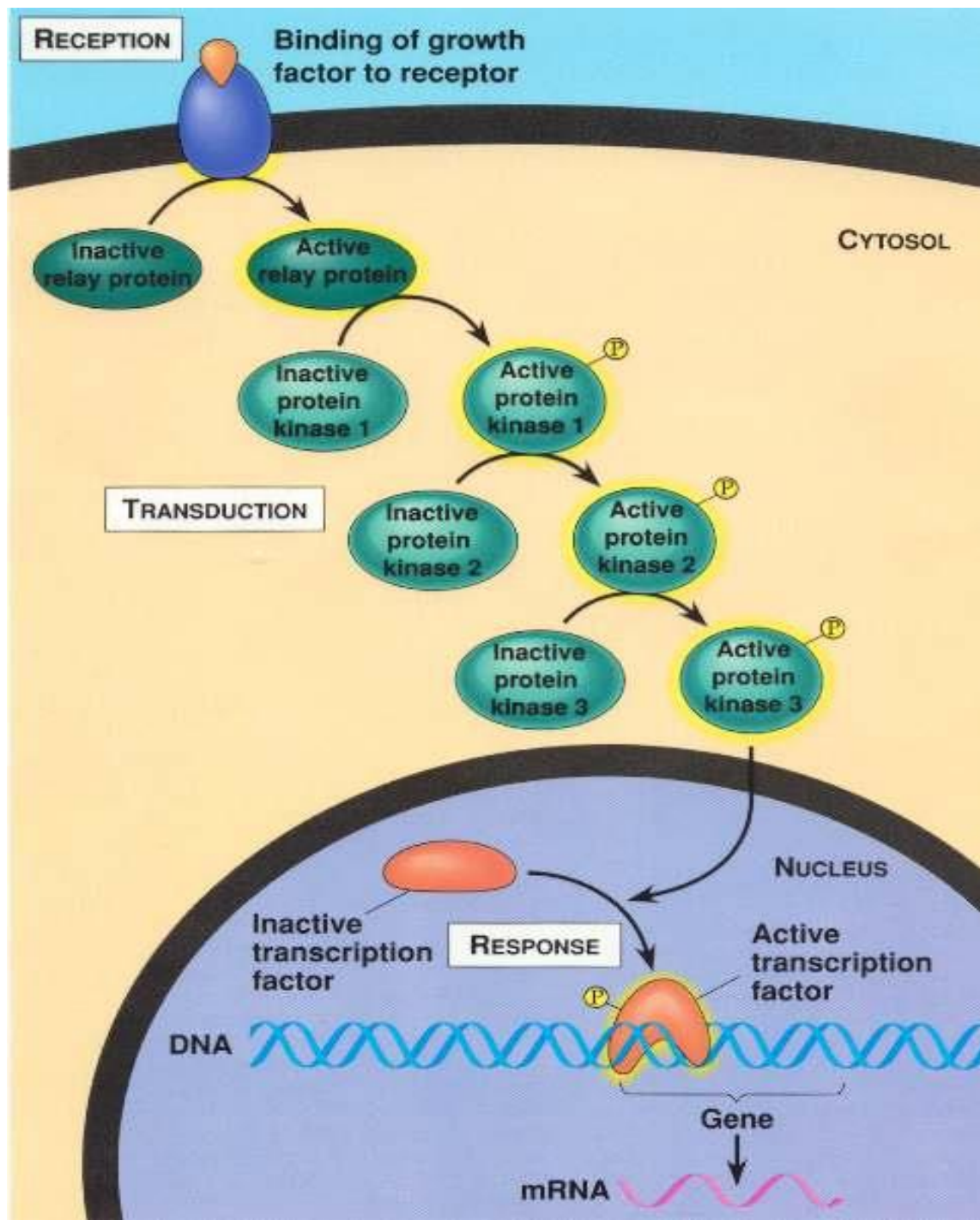


C-terminal tipo calmodulina com domínios de ligação com cálcio

Modelo de uma cinase de tipo receptor homodimérico, RLK5 membranar, que se autofosforila por ligação ao ligando.



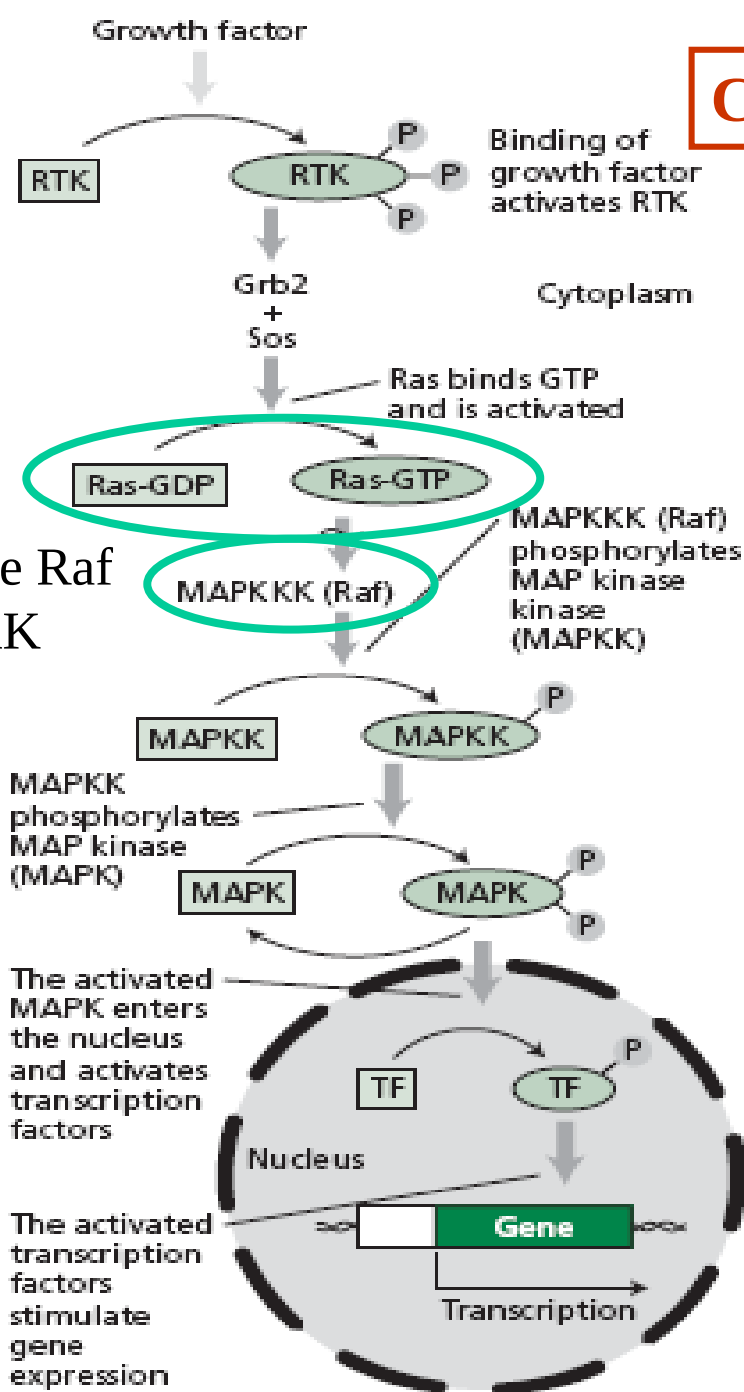
LRR,
leucine
reach
repeat



Cascatas de proteínas cinases são responsáveis pela transdução de sinais que regulam a expressão génica

Cascata MAPK (MAP cinase)

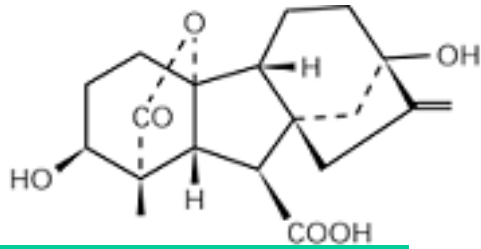
Activação de Raf
ou MAPKKK



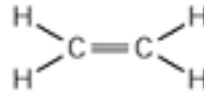
1.4. Sinais hormonais associados ao desenvolvimento das plantas.

Receptores hormonais.

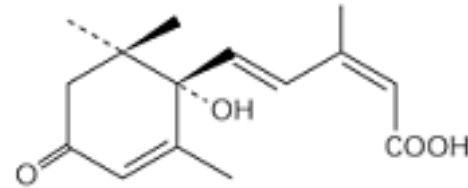
Hormonas



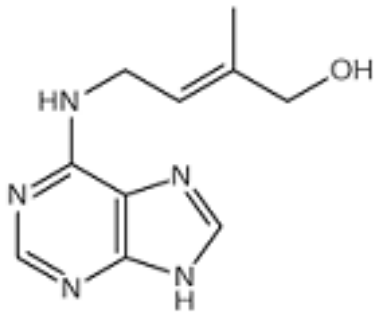
Giberelina - GA1



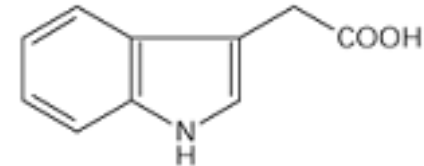
Etileno



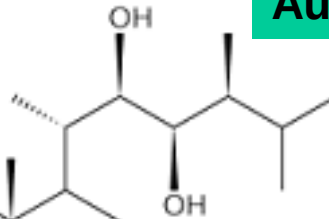
ABA, Ácido abscísico



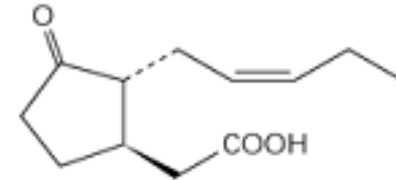
Citocinina - zeatina



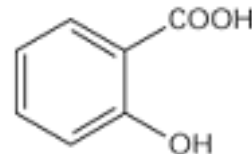
Auxina - IAA, Ácido indol-3-acético



BR, Brassinosteróide



JA, Ácido jasmónico

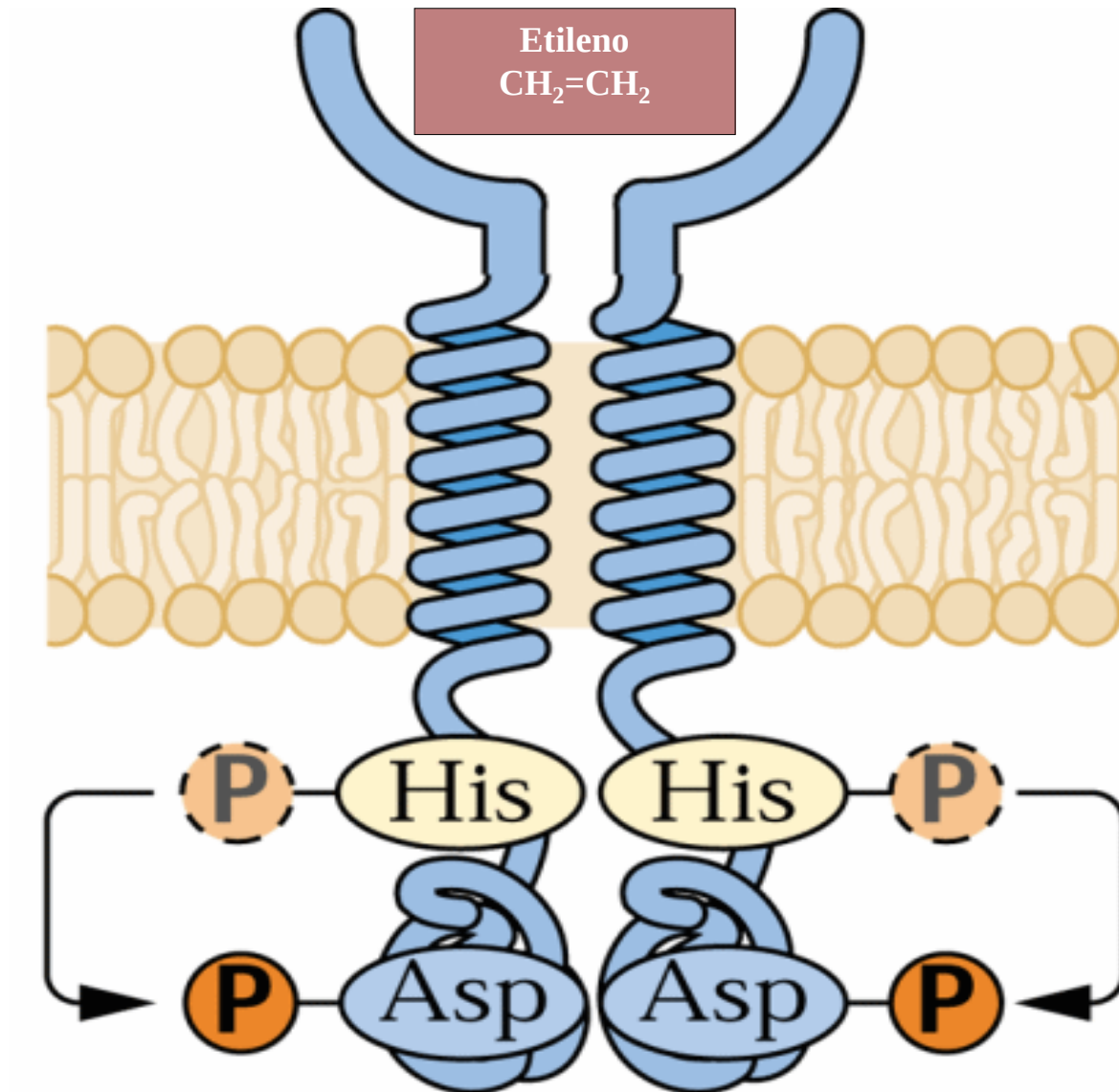


SA, Ácido salicílico



Poliamina - Espermidina

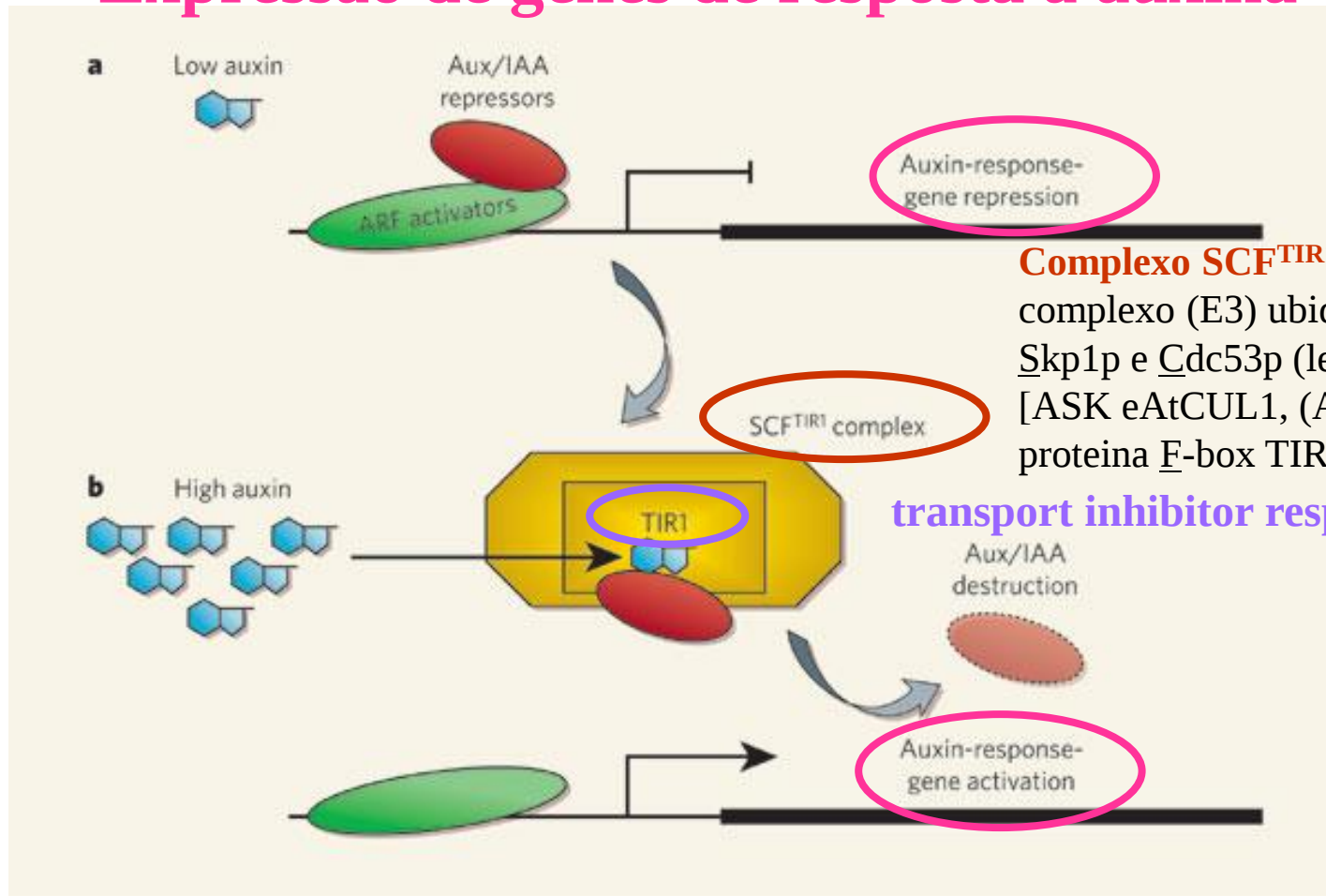
O receptor ETR1 do etileno ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) é um exemplo do receptor de dois componentes



Receptor do tipo “sistema de dois componentes” com actividade cinásica (proteína que fosforila outra proteína com fosfato proveniente do ATP). No exemplo, trata-se de uma histidina cinase. Para controlar a expressão génica será necessário outra ou outras cinases.

O receptor ETR1 do etileno descrito em *Arabidopsis* é um exemplo do sistema de dois componentes em plantas. Quando o etileno se liga, a proteína receptora forma um dímero e inicia o processo de sinalização por autofosforilação e transferência de fosfato.

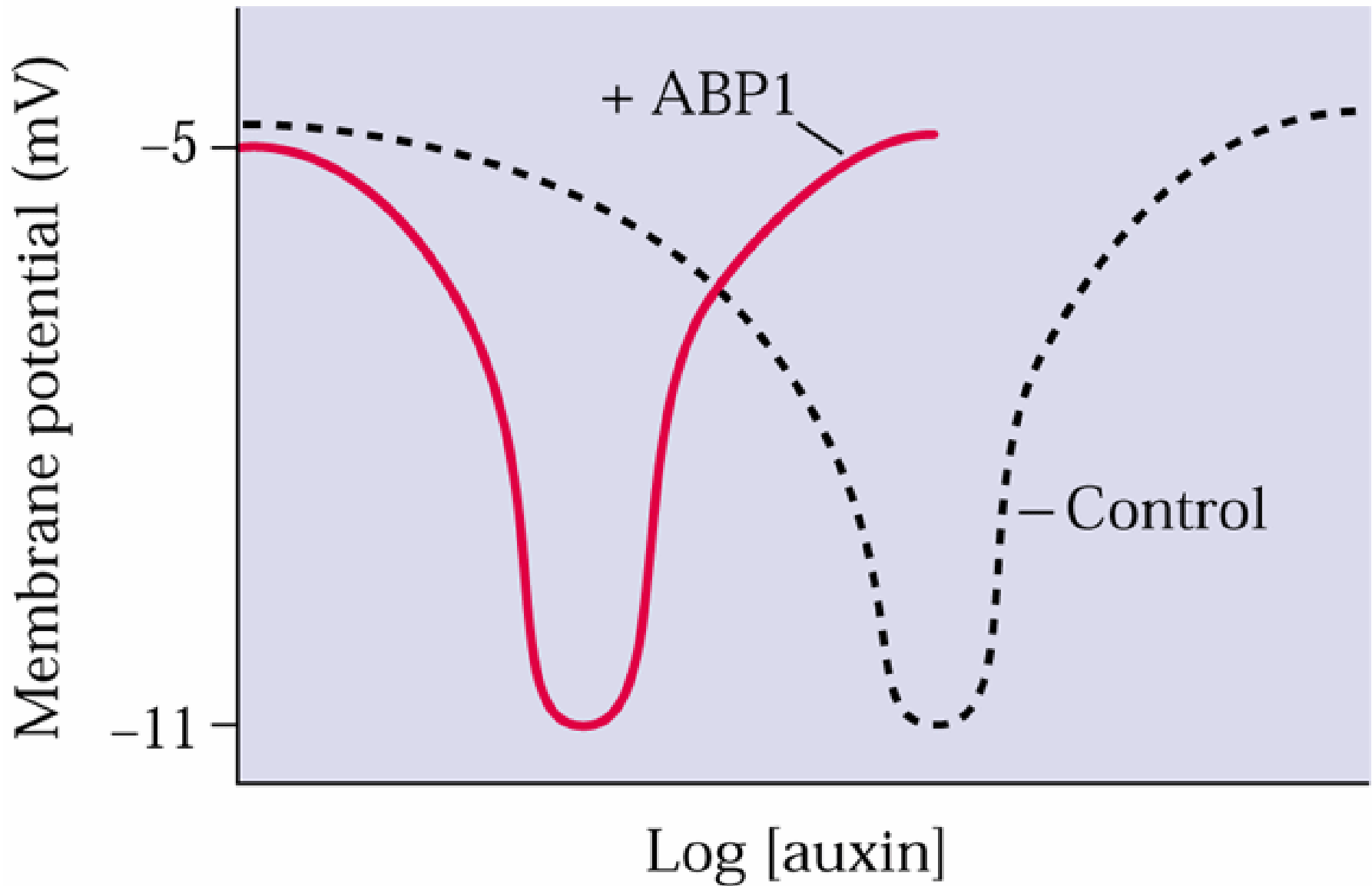
Expressão de genes de resposta à auxina



Activadores (ARF) ligam-se a elementos Aux/ nos promotores de genes de resposta à auxina **a**, [auxina] baixa, repressores Aux/IAA associados a activadores ARF – repressão da expressão de genes de **resposta à auxina**

b, [auxina] elevada, a auxina liga-se ao receptor TIR1 no complexo SCF^{TIR1}, associam-se repressores Aux/IAA a o receptor TIR1. Os repressores seguem uma via degradação - activação da expressão de genes de **resposta à auxina**.

Receptor ABP1 das auxinas



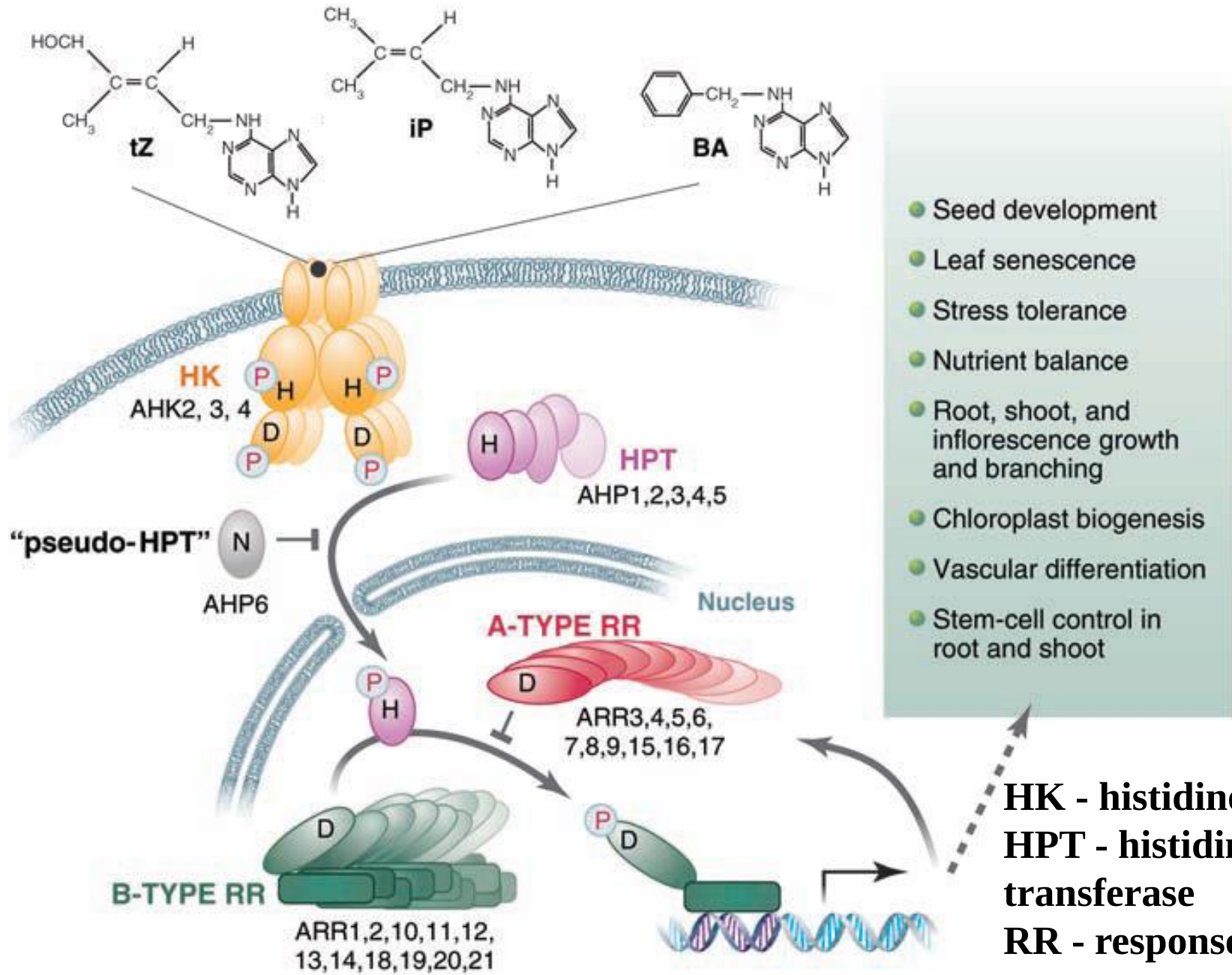
Receptor ABP1 das auxinas

ABP1 são proteínas que ligam IAA, NAA e outras auxinas.

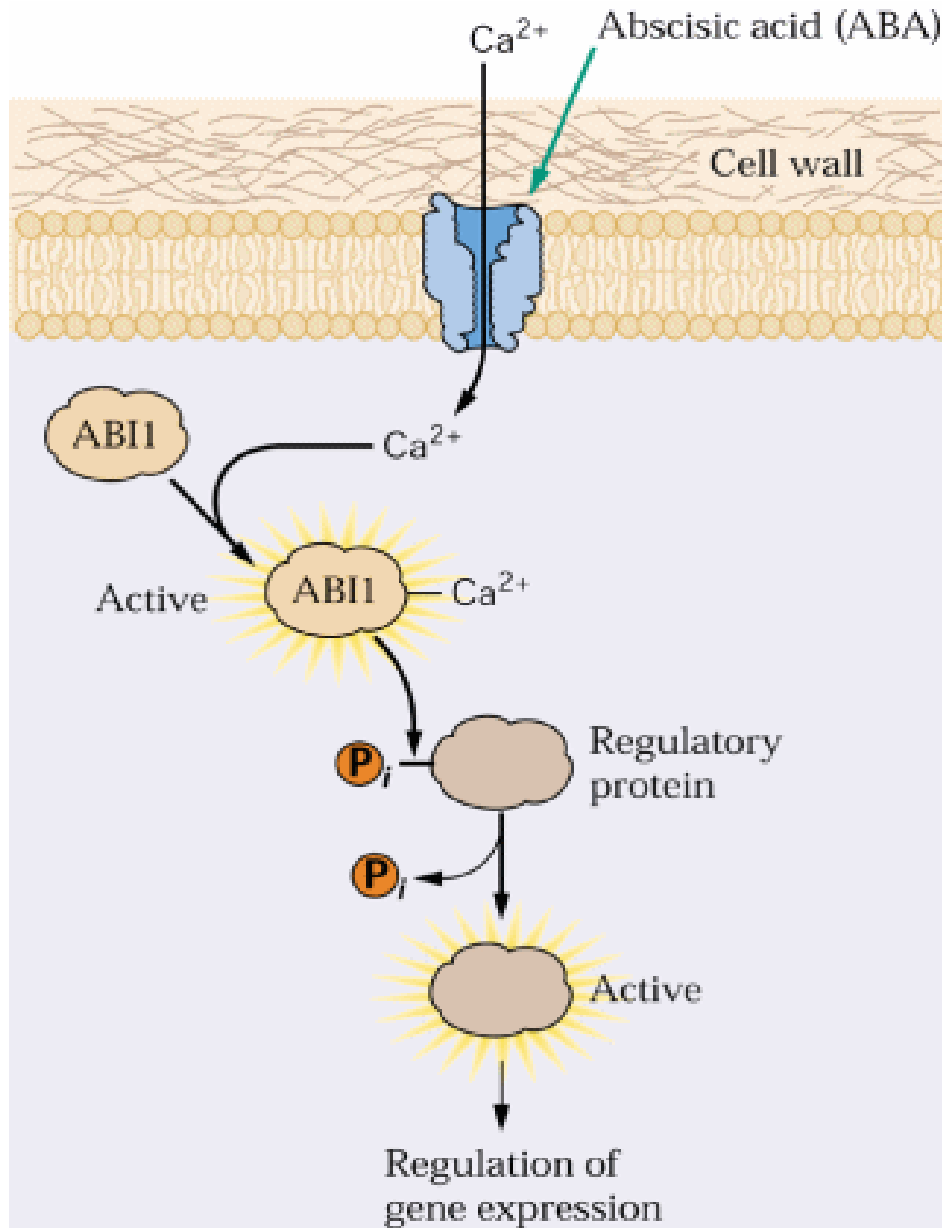
A figura representa os resultados de uma experiência sobre o papel de ABP1 como receptor de auxina: Linha a tracejado: potencial de membrana de protoplastos de tabaco + auxina $\Rightarrow$ hiperpolarização da membrana;

Linha vermelha: potencial de membrana de protoplastos de tabaco + auxina + ABP1 $\Rightarrow$ hiperpolarização da membrana para menores concentrações de auxina devido à maior sensibilidade à auxina.

Via de sinalização das citocininas

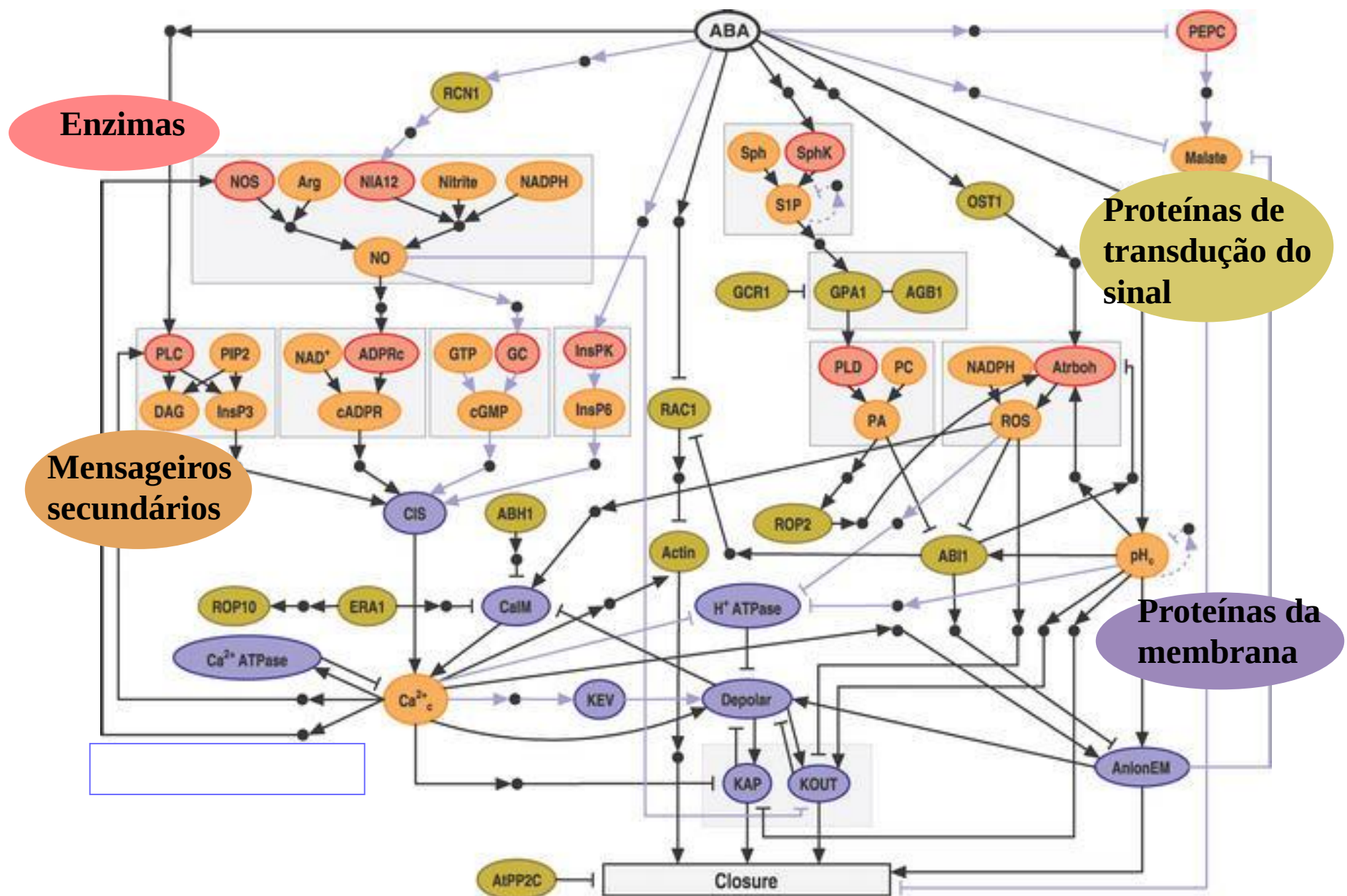


Hipótese da via de transdução para o ABA.

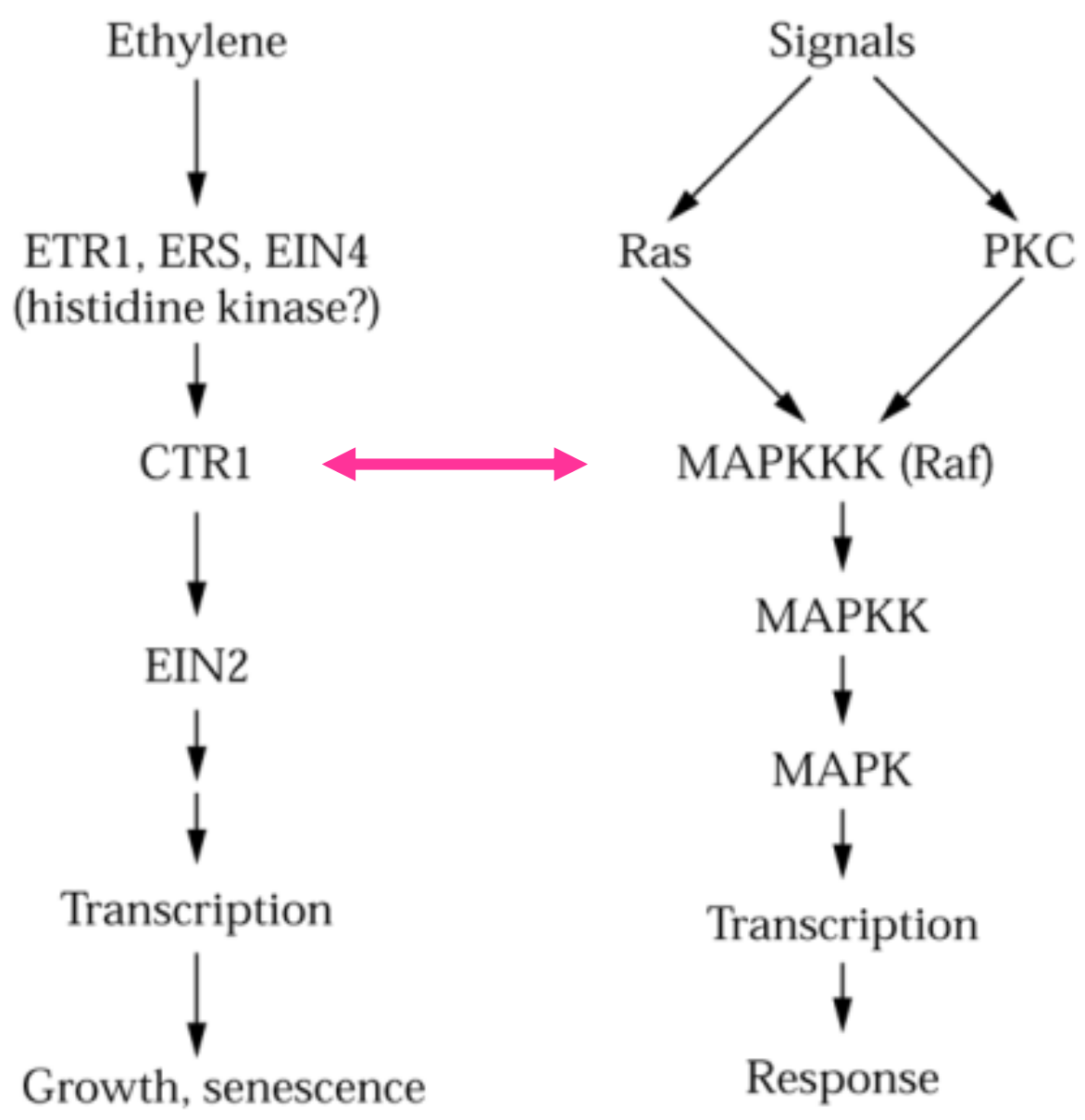


O ABA liga-se a um receptor membranar que permite a entrada de Ca^{2+} através da membrana plásmica e activa uma proteína-fosfatase dependente de Ca^{2+} (ABI1).

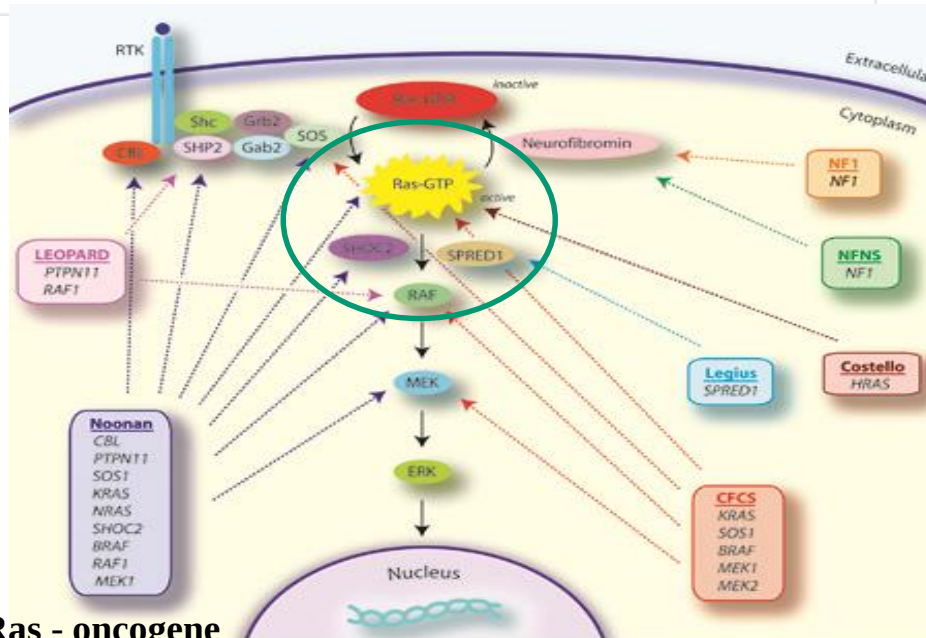
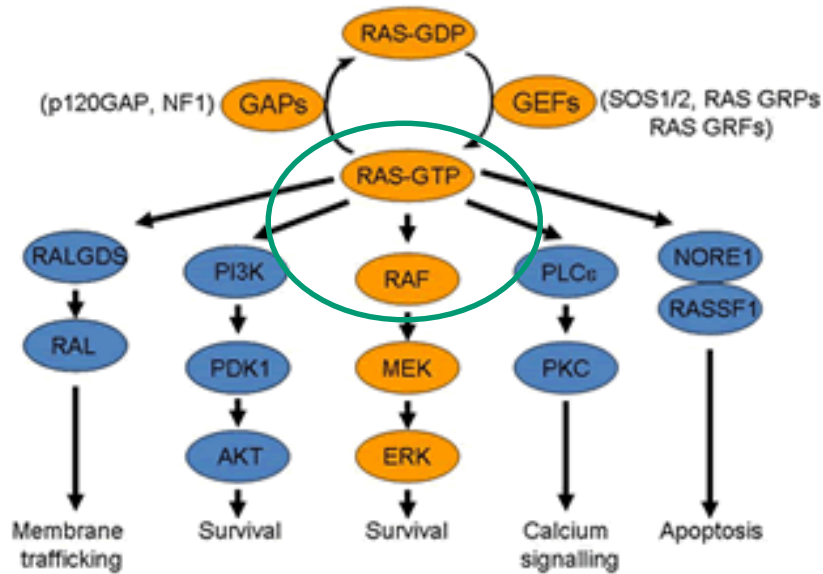
Modelo matricial (ou em rede) da sinalização pelo ABA das células guardas do estoma



Comparação da via de sinalização do etileno e via de sinalização Ras animal

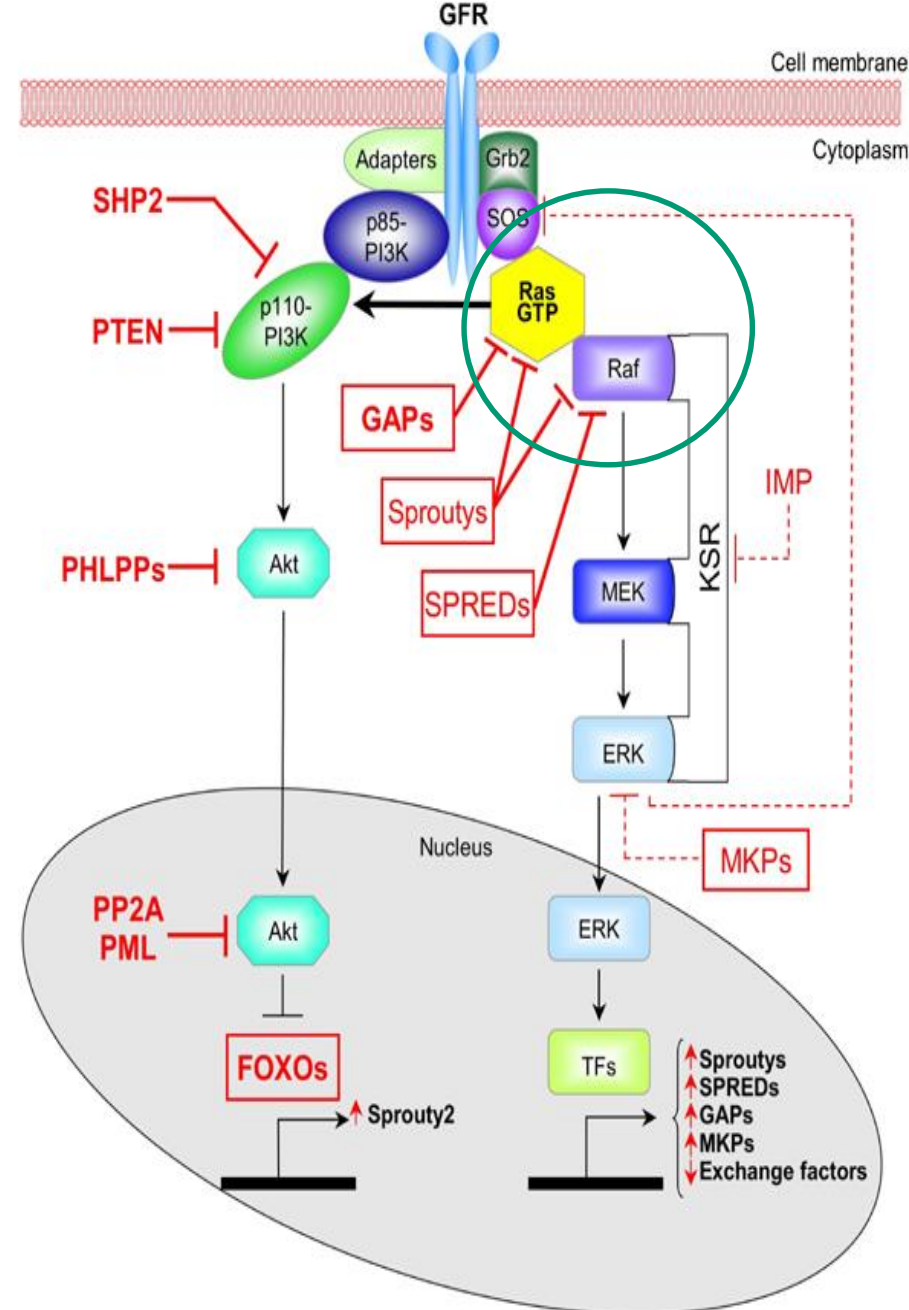


RAS pathway



Ras - oncogene

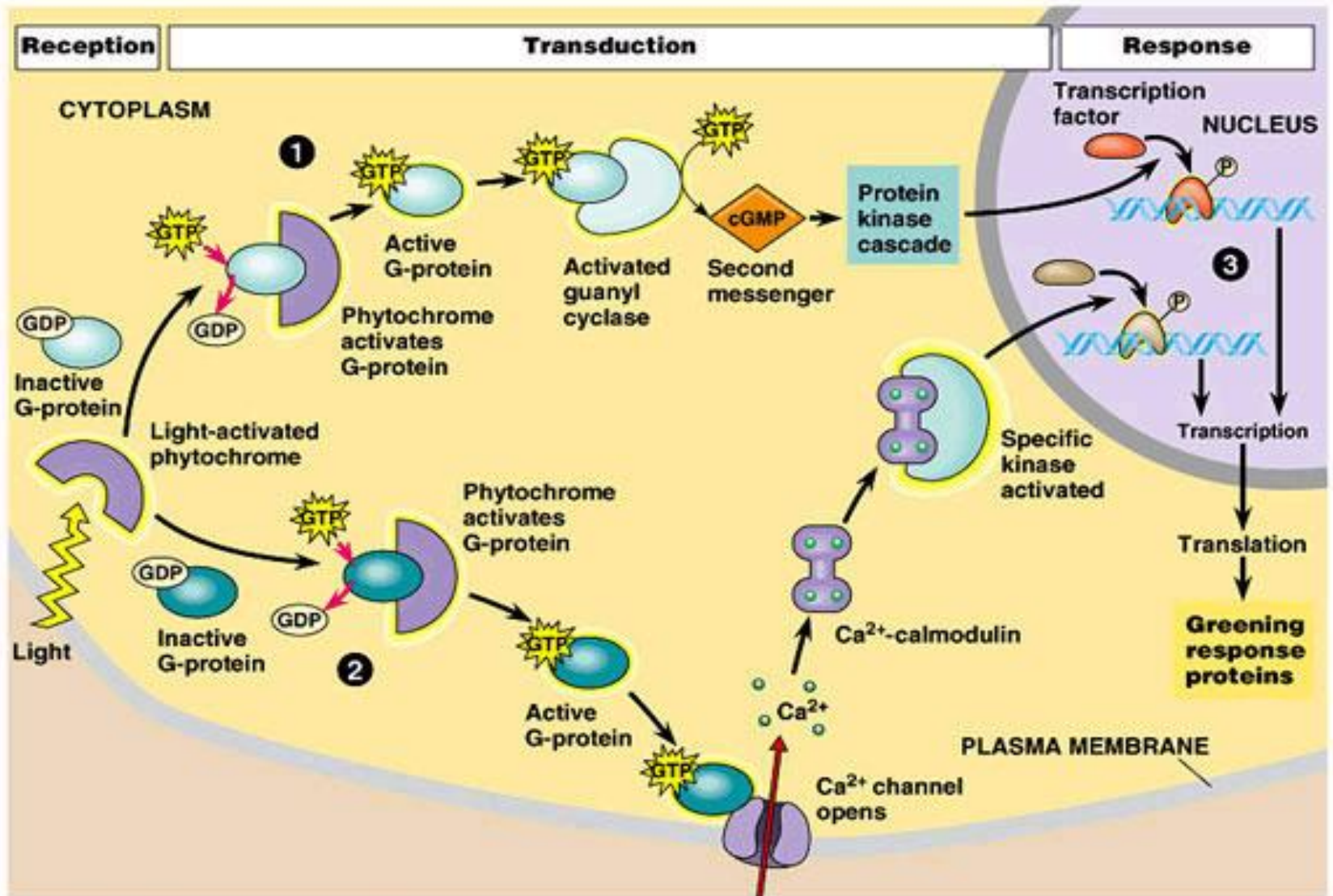
The RAS-MAPK signal transduction pathway and the RASopathies associated with dysregulation of various components of the pathway. (Adopted from Ekvall S, Hagenäs L, Allansson J, Annerén G, Bondeson ML. Am J Med Genet A. 2011, 155(6):1217-24)



GFR (GFR) gene for Glial cell line-Derived Neurotrophic Factor (GDNF)

1.5. Sinais luminosos, receptores e fotomorfogénese

Sinal luminoso, fitocromo e vias de transdução do sinal luminoso



Interacções na rede formada pelas vias de transdução do sinal.

As proteínas cinase ocupam uma posição central na rede.

