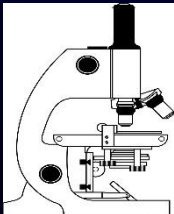


Capítulo 11

Zonas, Facies y

Series de Facies Metamórficas



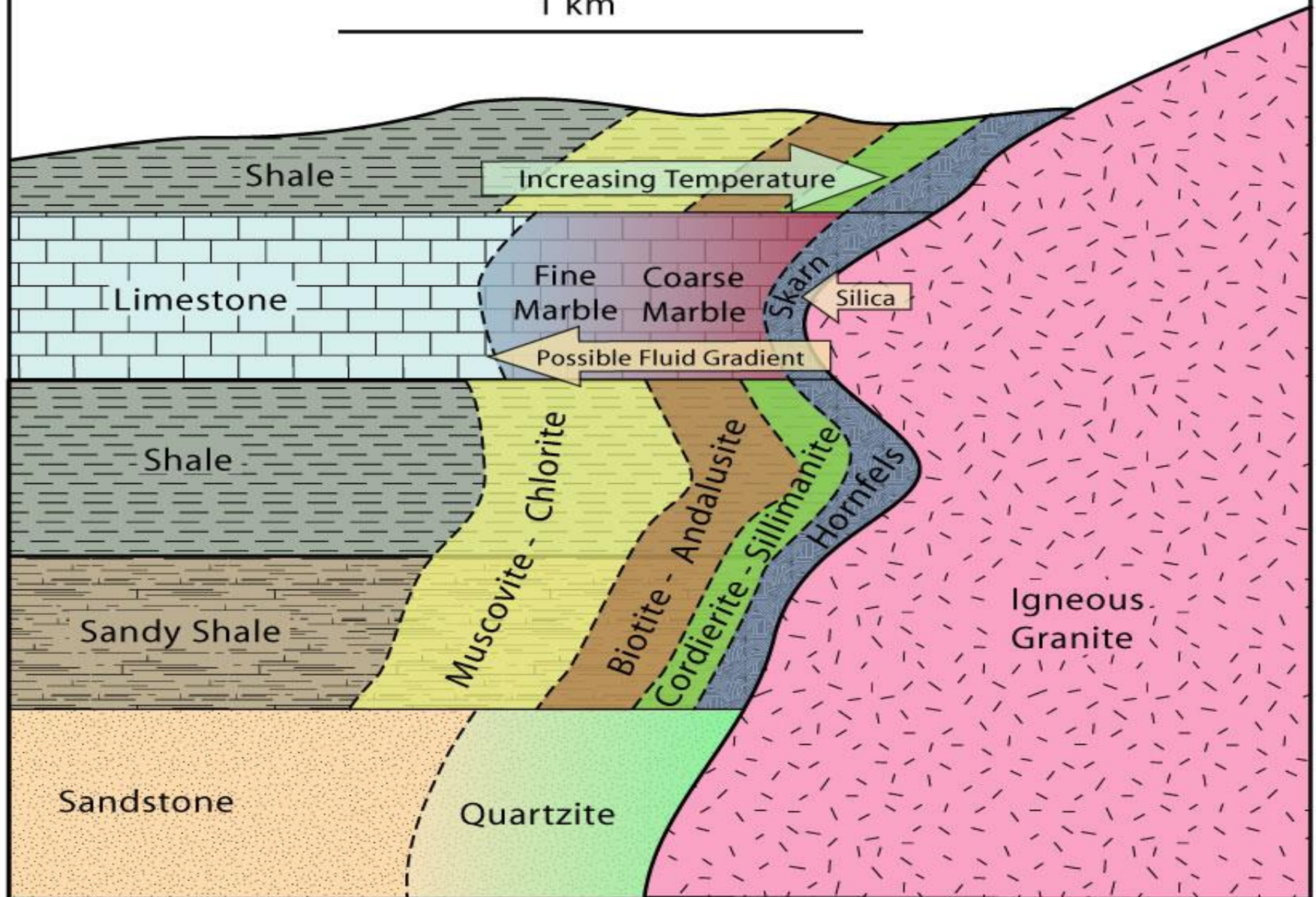
Prof. Pablo J. Caffè

Generalidades

Una forma de **organizar** el metamorfismo es reconocer (y “catalogar”) qué **asociaciones de minerales/rocas** representan condiciones de distinta “intensidad” de metamorfismo.

Por ejemplo...

1 km



Grado Metamórfico

Una forma de referir la intensidad de metamorfismo que ha sufrido una roca es mediante su **GRADO METAMORFICO**

Términos como metamorfismo de “alto grado” o “bajo grado” son muy usados, pero a veces son ambiguos o aplicados incorrectamente.

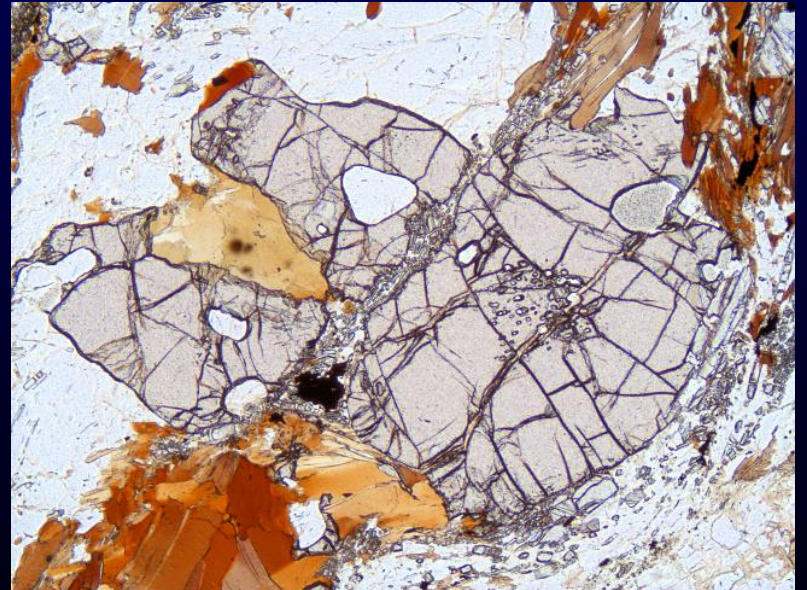
En sentido amplio (Tilley, 1924) el concepto indicaba “intensidad” de metamorfismo (condiciones de aumento de T y P), sin importar el agente que lo provoca.

Actualmente [**SCRM (IUGS)**] **GRADO** refiere a la condición **térmica (T)** que alcanzó la roca (P menor importancia), reflejada en los minerales presentes (**paragénesis metamórfica = equilibrio**).

Winkler (1979) **Muy bajo— Bajo— Medio— Alto**

Por ejemplo...

Roca de Bajo Grado = Filita



Roca de Alto Grado = Granulita Crd-Grt

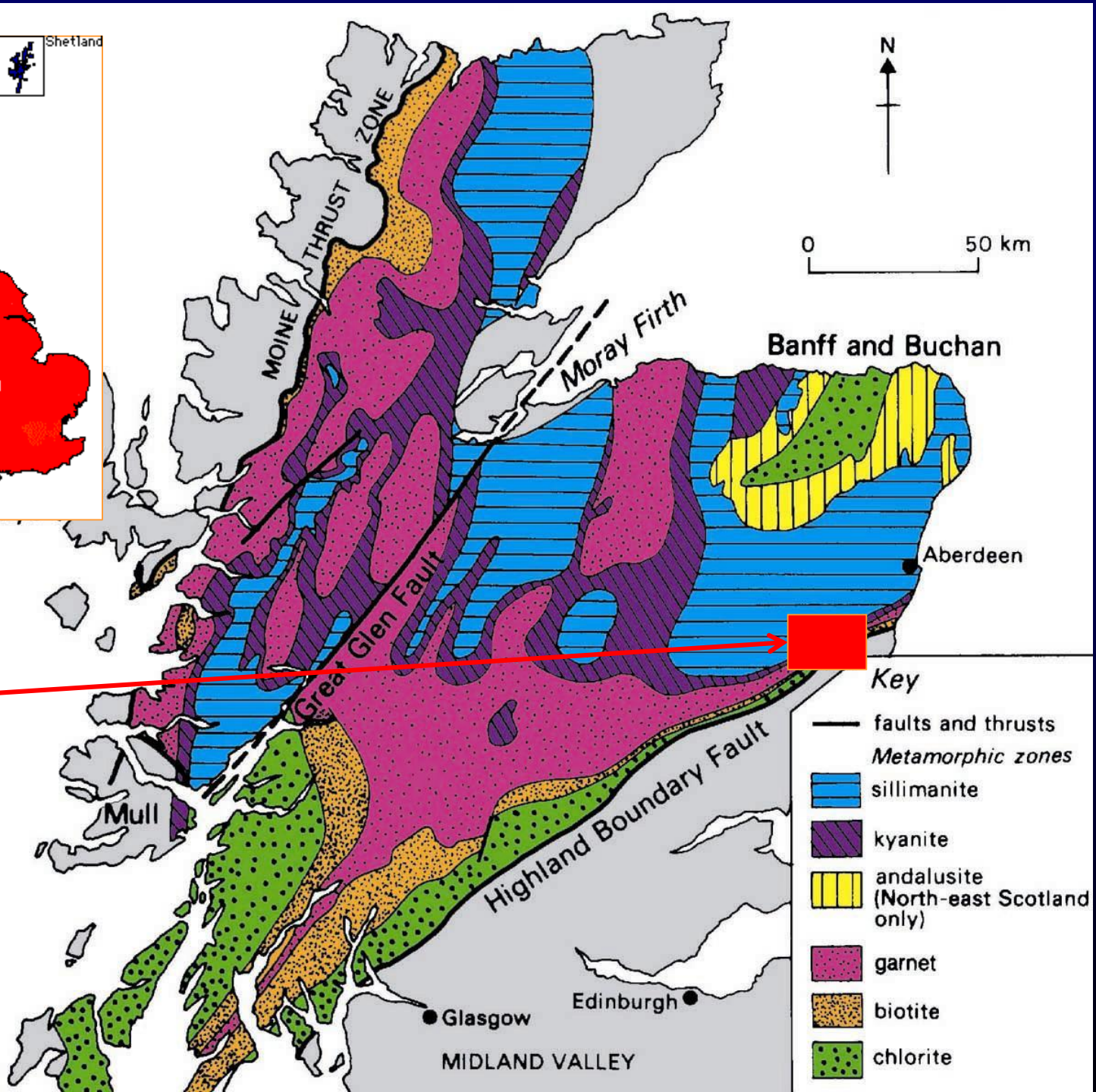
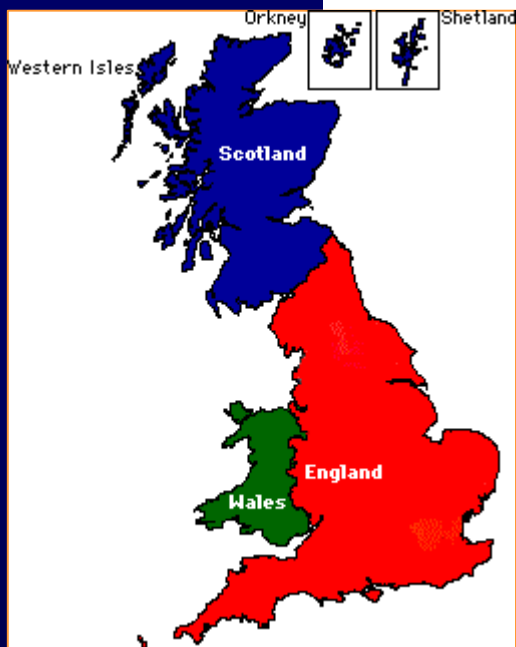
Zona metamórfica

- Barrow (1893, 1912) estudió las rocas **metapelíticas** del metamorfismo regional de las tierras altas escocesas (Scottish Highlands, Caledoniano, Ov inf – Dev inf).
- Subdividió el área en una serie de **zonas metamórficas**, cada una de ellas basada en la aparición de un nuevo mineral en los afloramientos, a medida que el grado metamórfico aumentaba.
- El nuevo mineral que caracteriza una zona fue denominado **mineral índice**

La secuencia de zonas de Barrow, y las típicas asociaciones minerales metamórficas en ellas son:

Zona de:

- **Clorita.** Pizarras o filitas con clorita, muscovita, cuarzo y albita
- **Biotita.** Filitas y esquistos con biotita, clorita, muscovita, cuarzo y albita
- **Granate.** Esquistos con granate rojo almandínico (típico), con biotita, clorita, muscovita, cuarzo y albita u oligoclasa
- **Estauroлита.** Esquistos con estauroлита, granate, biotita, muscovita, cuarzo y plagioclasa. Algo de clorita puede persistir.
- **Cianita.** Esquistos con cianita, biotita, muscovita, cuarzo, plagioclasa, y usualmente granate y estauroлита.
- **Sillimanita.** Esquistos y gneises con sillimanita, biotita, muscovita, cuarzo, plagioclasa, granate y ocasional estauroлита. Cianita ausente en esta zona (cianita y sillimanita son ambos polimorfos del Al_2SiO_5).



Key

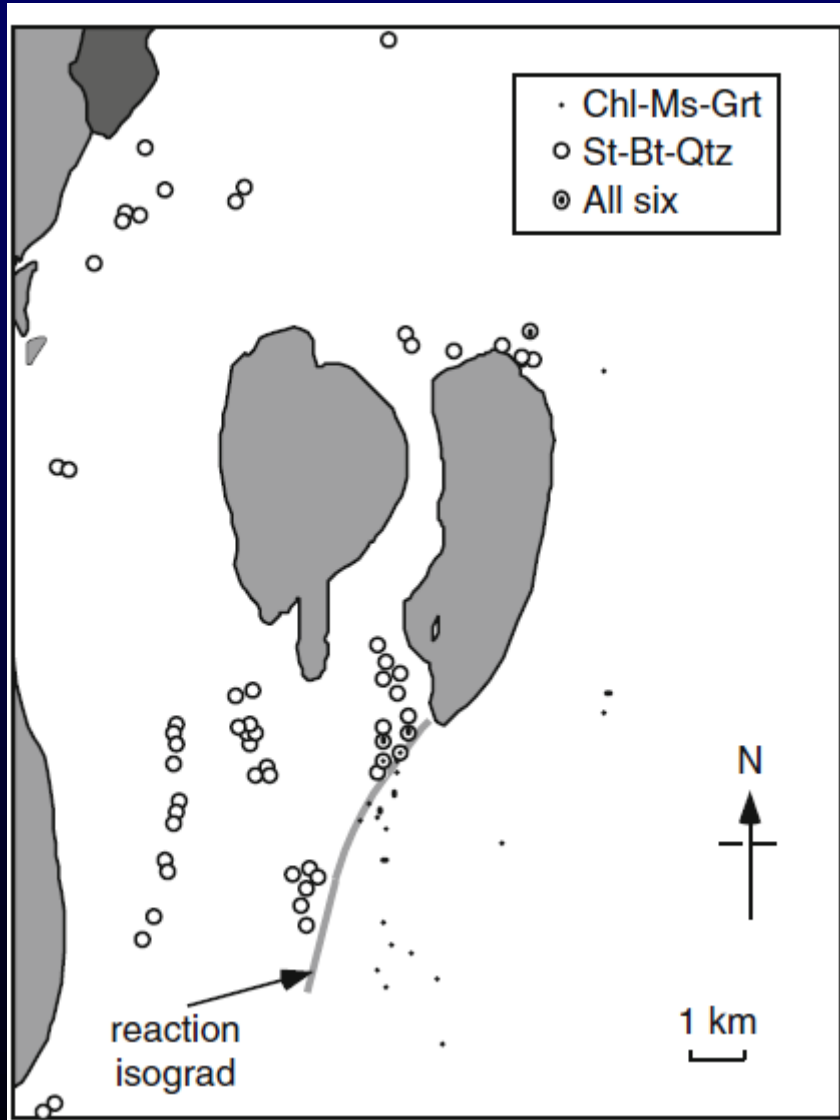
- faults and thrusts
- Metamorphic zones*
- ▒ sillimanite
- ▒ kyanite
- ▒ andalusite (North-east Scotland only)
- ▒ garnet
- ▒ biotite
- ▒ chlorite

Area estudiada por Barrow

- Secuencia = “Zonas Barrovianas”
- Las condiciones P-T a las que se forma la secuencia de zonas son ahora conocidas como metamorfismo de “Tipo Barroviano” típicas de metapelitas de muchos cinturones orogénicos fuera de Escocia: metamorfismo de gradiente P/T intermedio (25° C/km)
- Corresponden a rocas de Grado Bajo a Medio (comienzo del Alto)
- Isograda (Tilley 1925) = línea imaginaria mapeable en el campo marcada por la unión de puntos donde aparece un mineral índice. Una isograda divide una zona metamórfica de otra adyacente.
- El término fue acuñado para separar zonas de condiciones metamórficas (T - P) supuestamente constantes.

- Más adecuado: la intersección de la superficie de isograda y la superficie terrestre
- Una isograda no guarda relación más que casual con un litotipo específico. En general, las isogradas deberían cortar los diferentes bancos de rocas.
- Modificación de Winkler (1978): considera no sólo la aparición de algunos minerales, sino la desaparición de otros (ej.: isograda de “**estauroлита in**”, isograda de “**muscovita out**”)

- Isograda de reacción (Bucher y Frey, 1994; Bucher y Grapes, 2011)



Mapeo de **isograda de reacción**:
Mapeo de reactantes y productos de una reacción metamórfica en las rocas. Si la reacción tiene condiciones $P - T - X$ definidas experimentalmente (o avaladas por modelos termodinámicos), su mapeo permite definir esas variables en el campo.

Mapa de la isograda de reacción
 $\text{Chl} + \text{Ms} + \text{Grt} \rightarrow \text{St} + \text{Bt} + \text{Qtz} + \text{H}_2\text{O}$

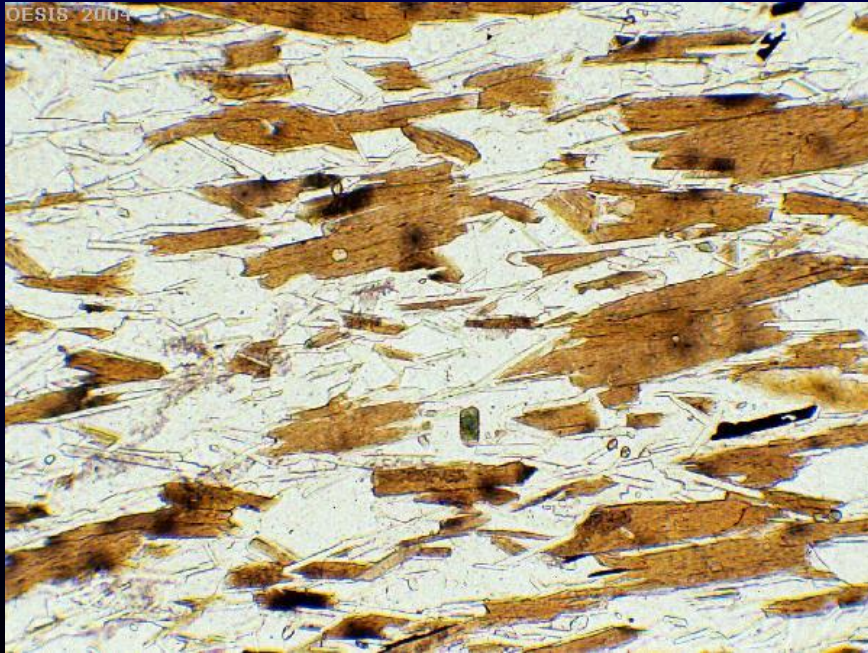
Resumen:

- Una **isograda** representa la primera aparición en el campo de un **mineral índice** en particular, a medida que se progresa incrementando el grado metamórfico
- Cuando se cruza una isograda, tal como la de biotita, se entra en la **zona de biotita**
- Las zonas (en el sentido de Barrow) tienen los mismos nombres que la isograda que forma el límite de **menor grado** de esa zona

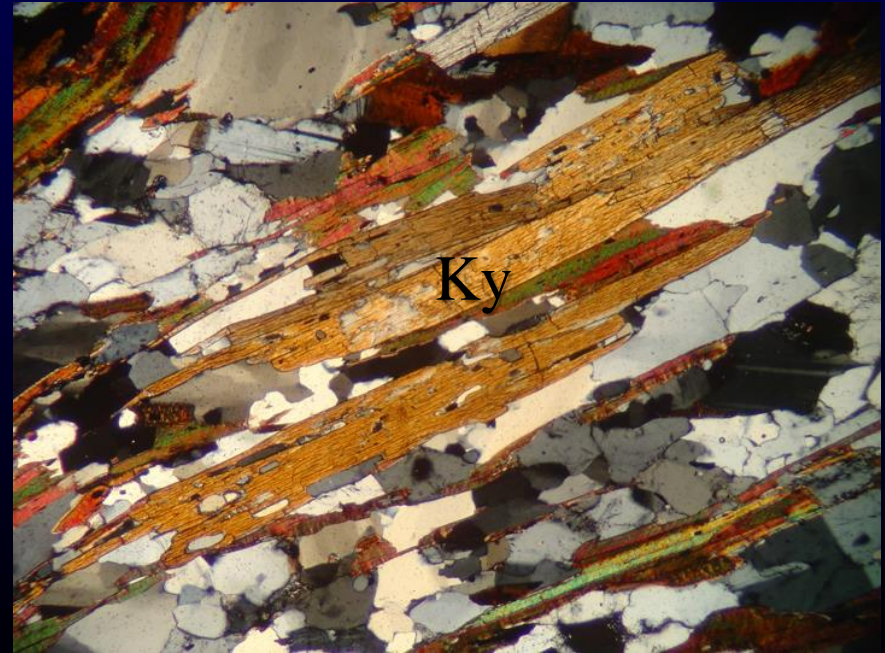
Problemas

- a) como la definición de zona no se basa en la desaparición de un mineral, un mineral índice puede ser (meta)estable en zonas de grados más altos, generando ambigüedad o confusión

Esquisto Bt-Ms



Esquisto Bt-Ky



Problemas

- a) como la definición de zona no se basa en la desaparición de un mineral, un mineral índice puede ser estable en zonas de grados más altos, generando ambigüedad o confusión
- b) en otras regiones, aparecen otras zonas y minerales índices no contempladas en el metamorfismo Barroviano (son igualmente mapeables). Por ejemplo...

Justo al norte de la zona estudiada por Barrow, en el área conocida como distrito de Banff y Buchan (Tilley, Kennedy);

- Las metapelitas son similares, pero la secuencia de zonas es:

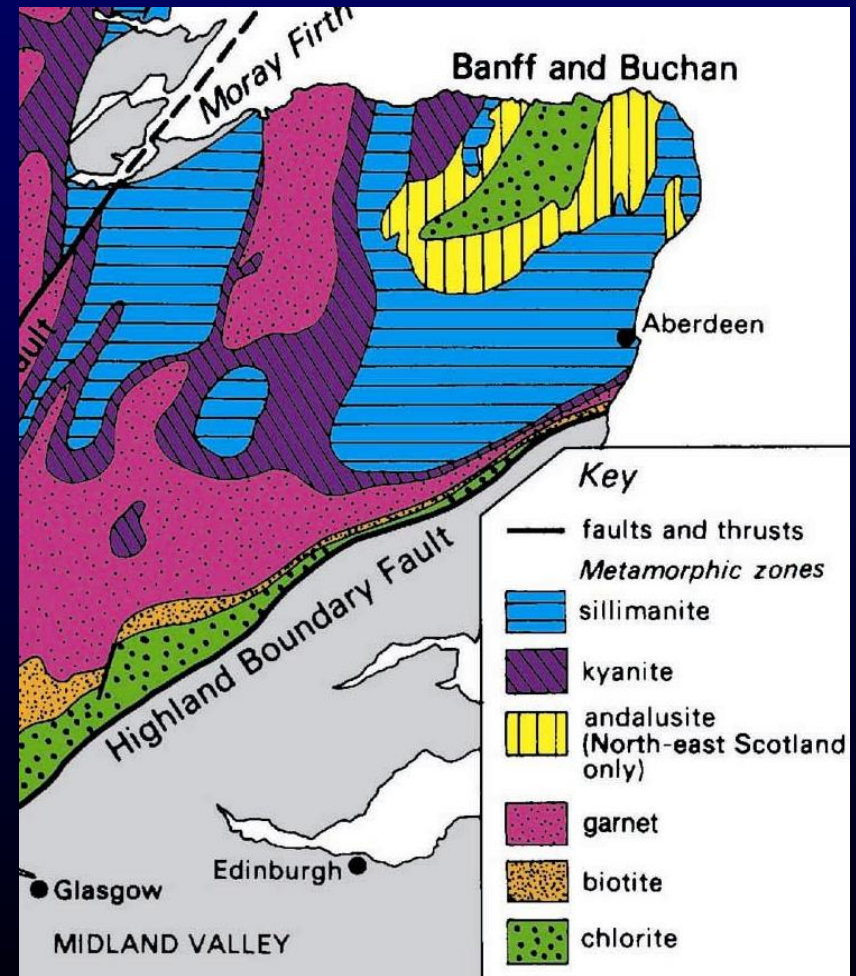
- ↳ clorita

- ↳ biotita

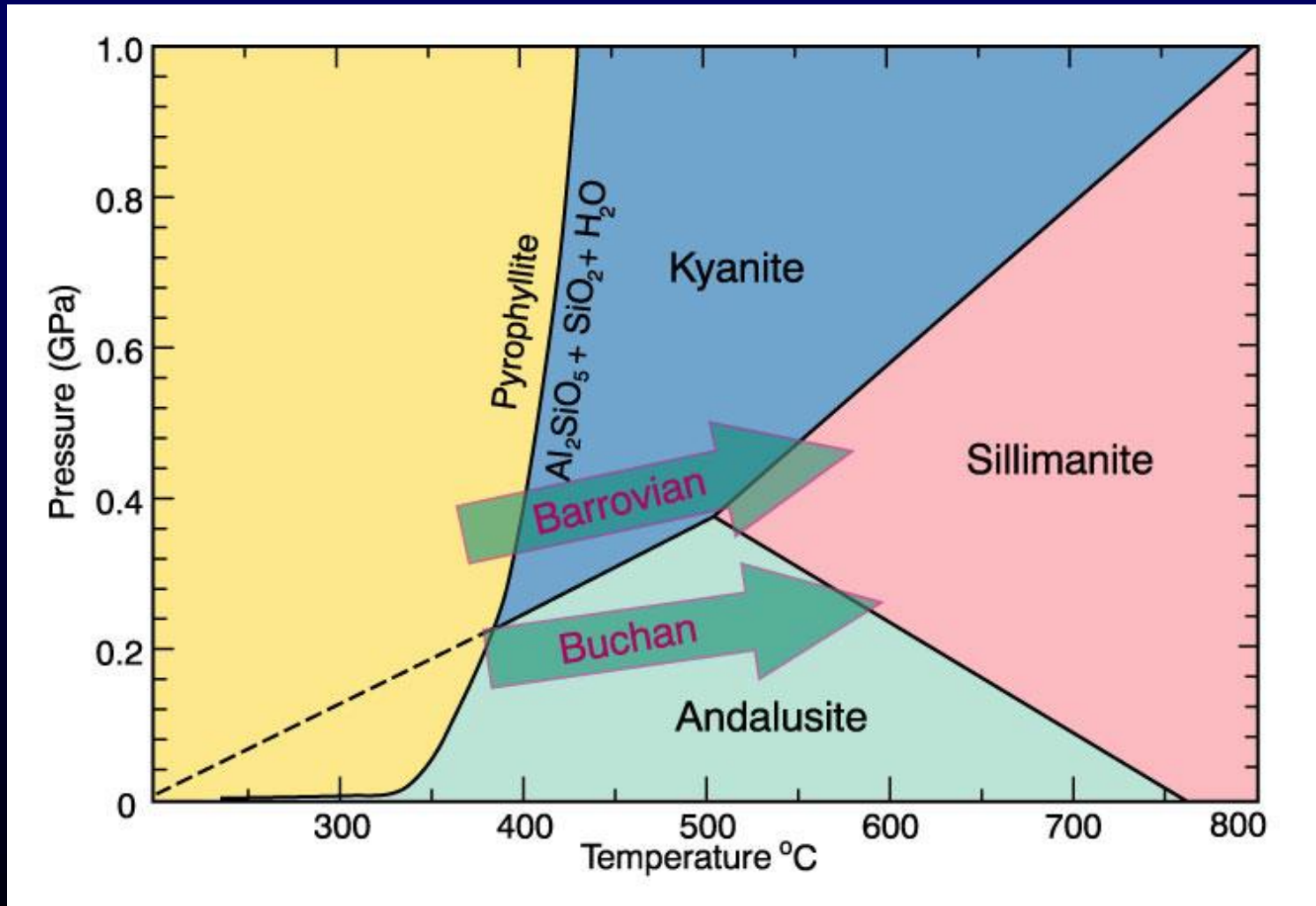
- ↳ Cordierita rica en Fe

- ↳ andalucita

- ↳ sillimanita



Campo de estabilidad de andalucita; Bajas P (<0.37 GPa ~ 10 km),
Isograsas de cianita y sillimanita ocurren encima de esa P,
Cordierita (rica en Fe) = baja P = gradiente geotérmico mayor

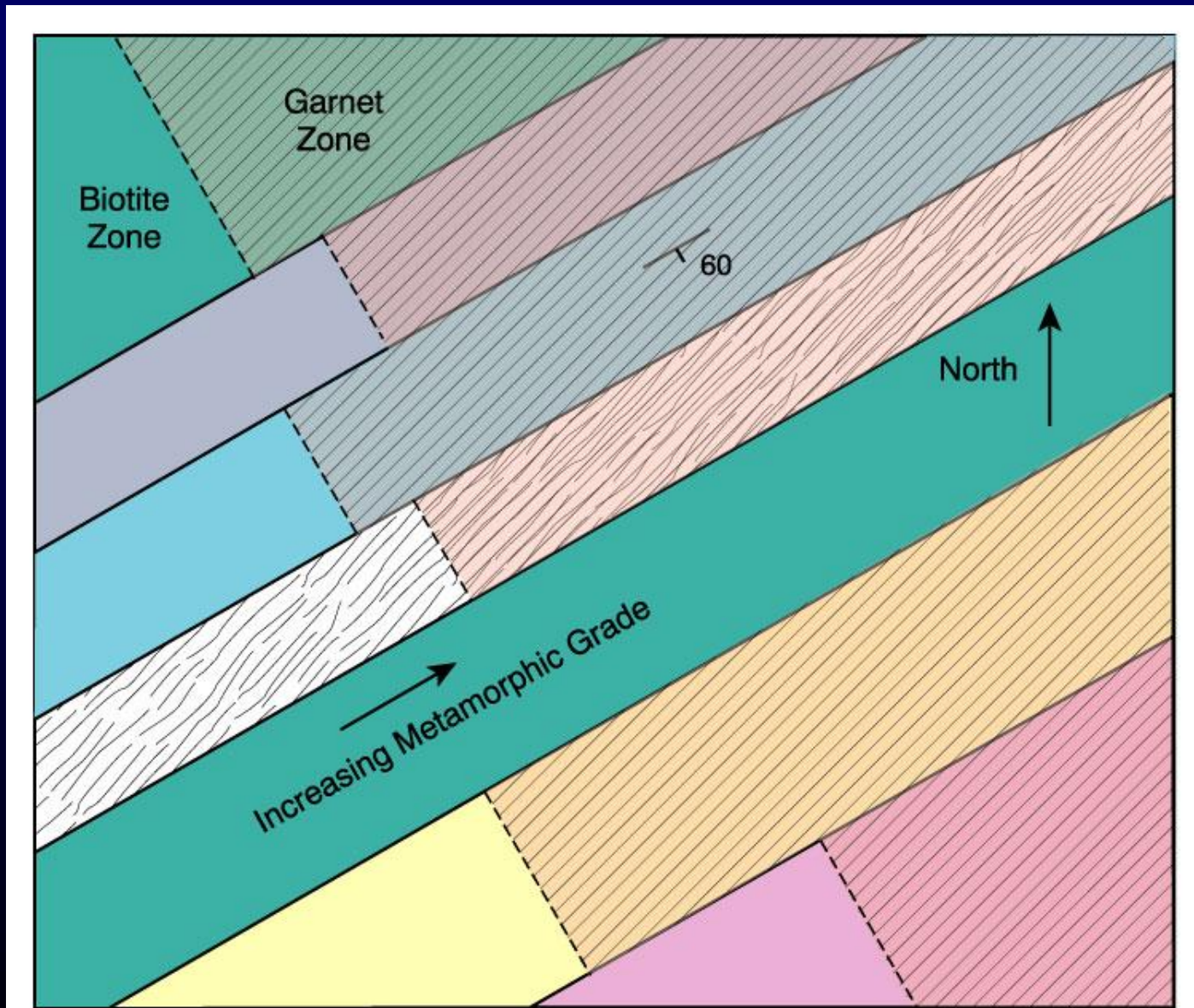


Problemas

- a) como la definición de zona no se basa en la desaparición de un mineral, un mineral índice puede ser estable en zonas de grados más altos.
- b) en otras regiones, aparecen otras zonas no contempladas en el metamorfismo Barroviano.
- c) la aparición o no de un mineral índice depende de la composición del protolito.

Algunos minerales índices pueden retardar o adelantar su aparición, o incluso no aparecer lo que puede llevar a importantes errores en estimación del grado metamórfico.

El reconocimiento de la zona se complica si la composición no ayuda...



Facies metamórficas (Eskola, 1915)

- Mejor que definir un mineral crítico, es determinar una **asociación mineral crítica** porque refleja mejor las variaciones de P, T y X.
- Las asociaciones minerales que aparecen tienen estrecha relación con la **composición del protolito**.
- **Facies**, según Eskola:
En un grupo de rocas metamórficas que alcanzaron el equilibrio químico bajo las mismas condiciones de P y T, las asociaciones minerales que se forman dependen sólo de la composición química particular de cada protolito.

Facies metamórficas

Concepto de facies

● Descriptivo

- ☞ Una facies metamórfica es un conjunto de asociaciones minerales metamórficas asociadas repetidamente
- ☞ Una asociación específica (o mejor aún, un grupo de asociaciones compatibles que cubran un rango de composiciones) hallada en el campo, permite asignar una región a cierta facies.

● Interpretativo

- ☞ Actualmente, podemos asignar límites de P y T amplios pero relativamente seguros a cada facies individual gracias a la petrología experimental

Facies metamórficas

Problemas

- 1) Una gran variación composicional de las rocas de una misma facies produce igual cantidad de asociaciones minerales. Sin embargo la facies recibe el nombre de un único tipo específico de roca (puede confundir).
- 2) Como ocurre con los minerales índices y las zonas metamórficas, algunas asociaciones minerales son estables en rangos más o menos amplios de P y T

Problemas

3) Algunas composiciones de protolitos no producen asociaciones minerales diagnósticas para ciertos rangos de P y T.

Ej.: metapelitas en facies de subesquistos verdes
metacarbonatos en facies de eclogitas
metacuarcitas en todas las facies

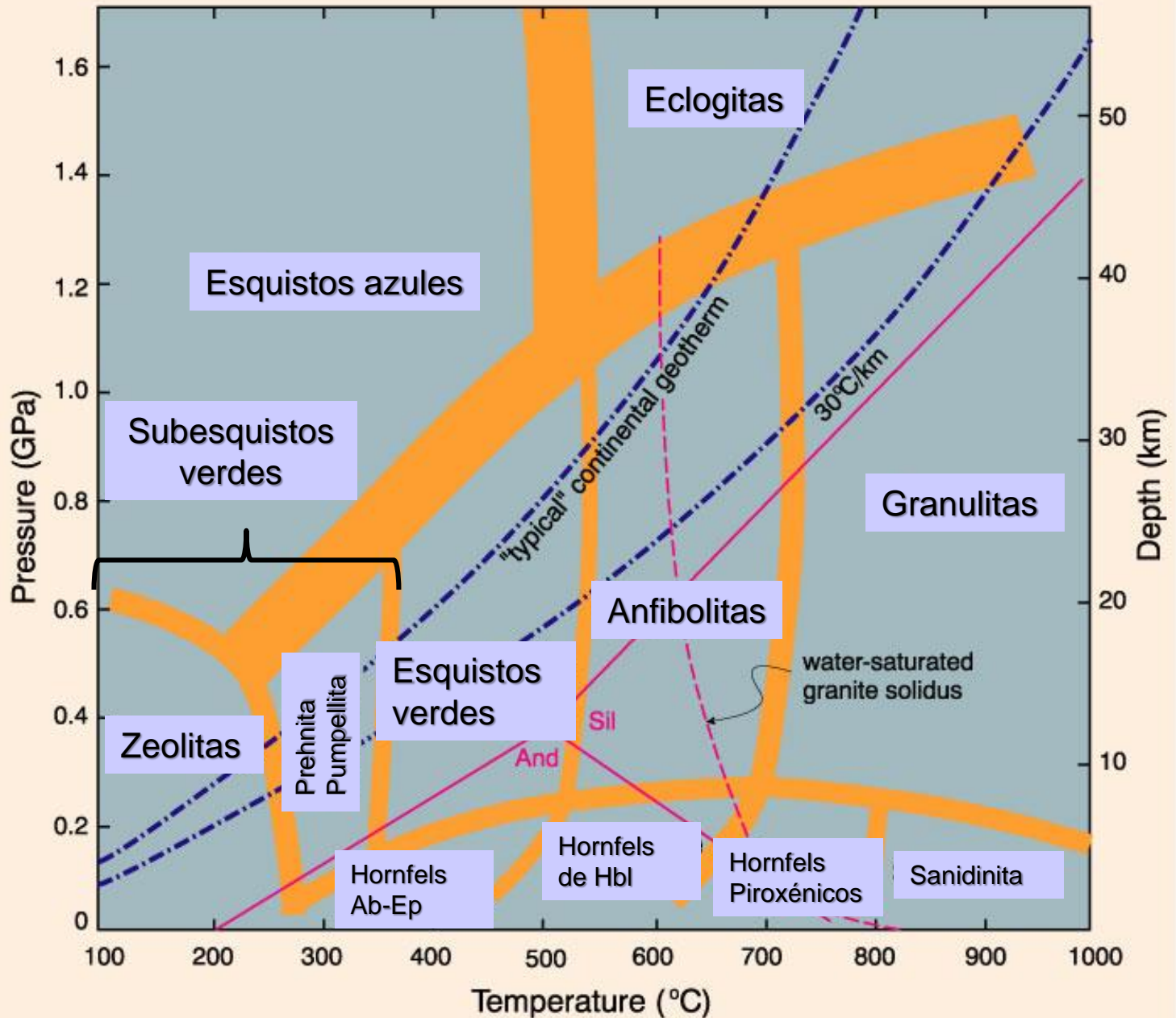
4) Los límites entre facies son transicionales y el concepto no considera X_{fluidos} .

Por ej.: la transición de facies de anfibolitas a granulitas depende críticamente de la $P_{\text{H}_2\text{O}}$ y $X_{\text{H}_2\text{O}}$ ($X_{\text{H}_2\text{O}}/X_{\text{fluidos}}$).

Tipos de facies metamórficas

R
e
g
i
o
n
a
l

Contacto



Facies metamórficas

Facies de Presión media

- 1) **Subesquistos verdes:** Agrupa las antiguas facies de muy bajo grado de Zeolitas y Prehnita-Pumpellita. Los minerales típicos son laumontita, wairakita, analcima en el rango de T más baja y prehnita, pumpellita, clorita y albita, a mayores T. Rango de T y P muy bajos.

Muchas veces las rocas de esta facies presentan **texturas heredadas de sus protolitos** o son insensitivas a este tipo de cambios.

La SCRM (IUGS) subdivide actualmente esta facies en facies de Zeolitas (hasta 200°C) y **Subesquistos Verdes** ppd (150-350 °C) En este curso mantendremos este último término para el conjunto de rocas equilibradas a $T < 350$ °C

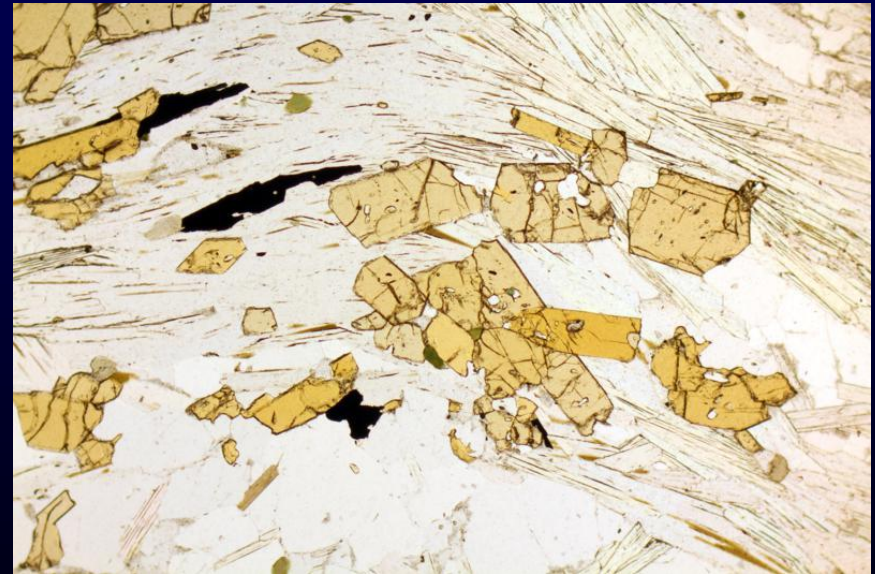
Facies de Presión media

2) **Esquistos verdes**: el nombre deriva de las metabasitas que contienen la mineralogía típica $Act + Chl + Ep + Ab \pm Qtz \pm Hbl \pm Grt$. Las zonas de clorita, biotita y granate de Barrow caen dentro de esta facies. Las pelitas muy aluminosas contienen Cld (cloritoide). Los mármoles de Ant-Fo y serpentinitas alpinas también entran en esta facies. Rango de T estrecho ($>350^{\circ}C - <500^{\circ}$) y P bajas a medias.



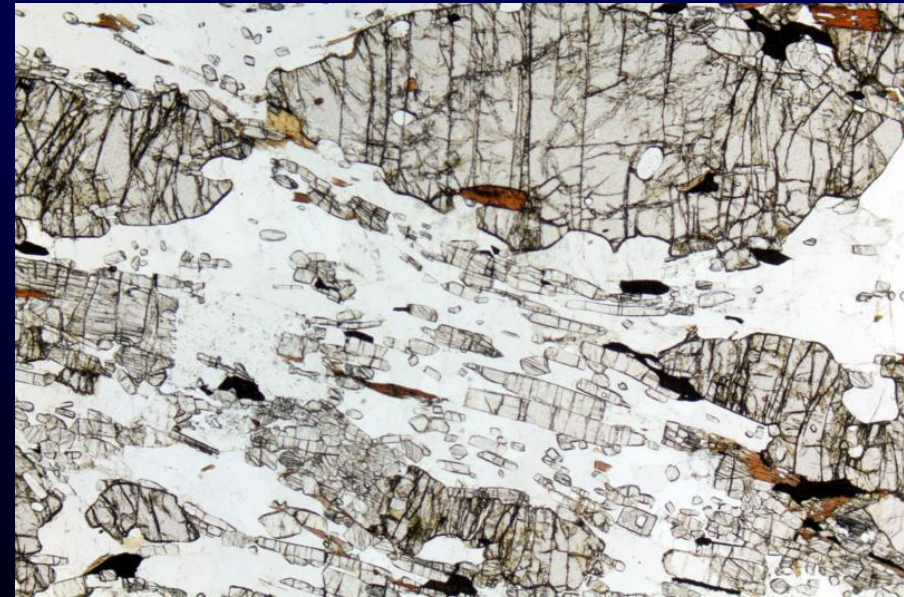
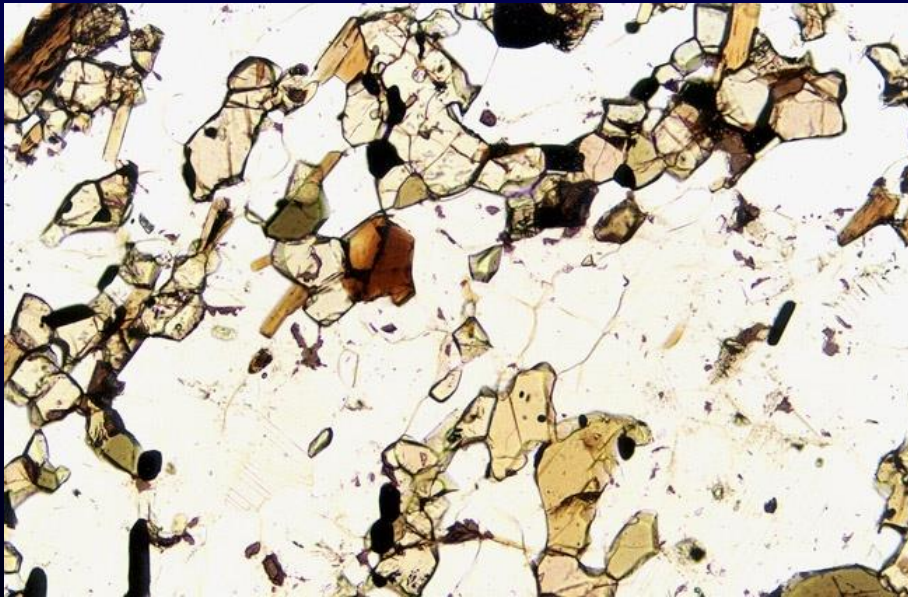
Facies metamórficas

- 3) **Anfibolitas:** nombre tomado de metabasitas con $Pl + Hbl \pm Qtz \pm Grt \pm Cpx$. Las zonas de estauroлита, cianita y sillimanita de Barrow pertenecen a esta facies. Los mármoles de Tlc – Fo también. $T \sim 500 - 700 \text{ } ^\circ\text{C}$; $P \sim 20-100 \text{ Gpa}$. Algunos autores subdividen esta facies en **Anfibolitas epidóticas** ($450- 500^\circ\text{C}$) y **Anfibolitas ppd** ($>500^\circ\text{C}$)



Facies metamórficas

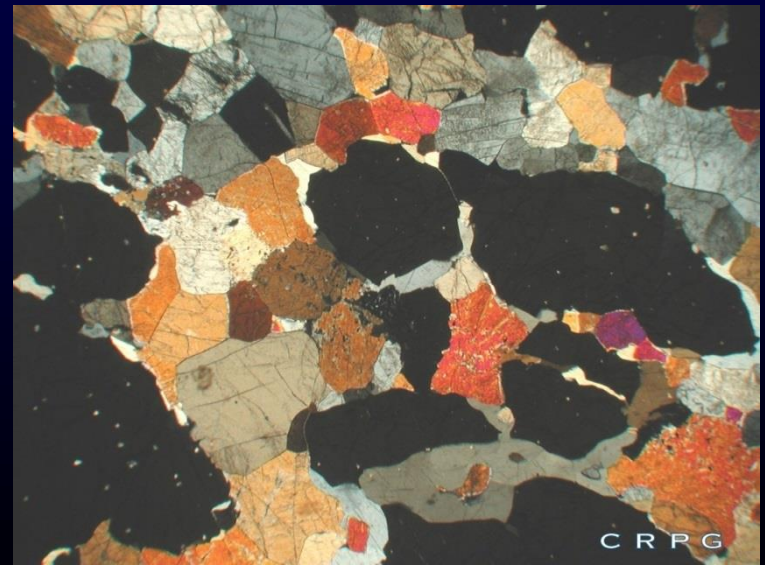
4) **Granulitas**: asociaciones minerales deshidratadas de máxima T en fajas orogénicas donde $P_{H_2O} \ll P_{total}$. En metabasitas, Opx y Cpx reemplazan a Hbl. En metapelitas aparecen asociaciones con Opx, Grt, Sil y Crd, a la vez que desaparecen las micas.



Facies metamórficas

Facies de Presión Alta

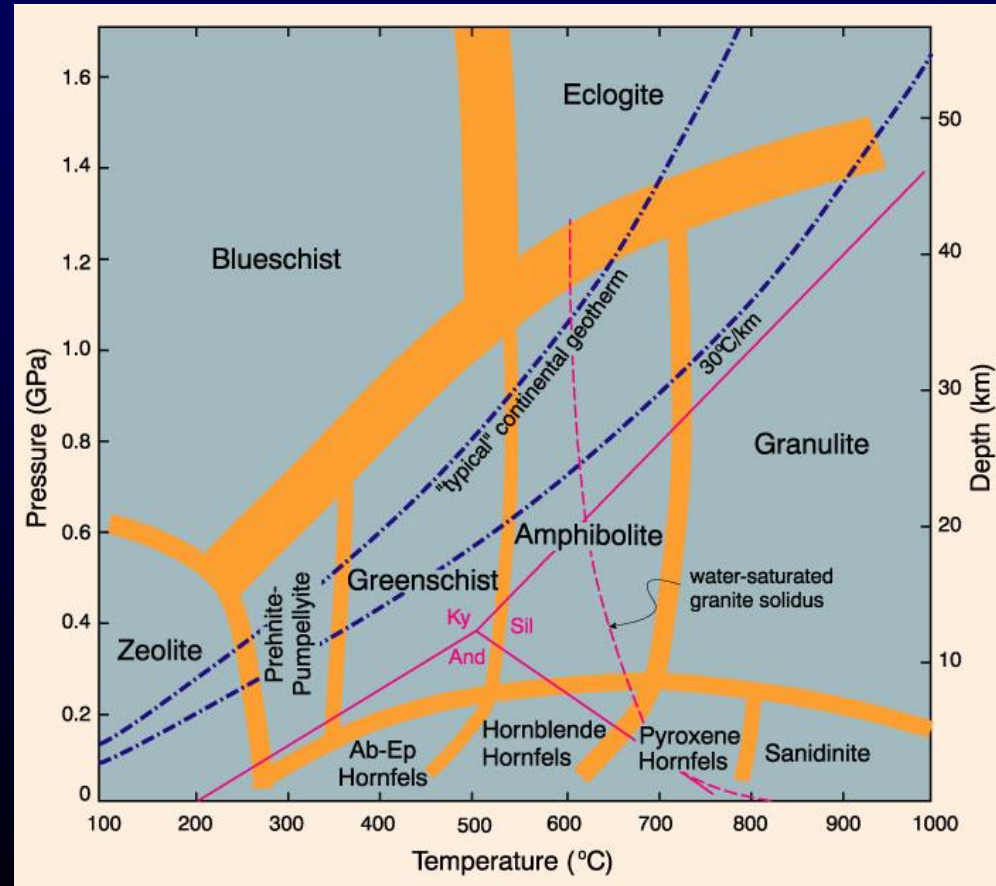
- 1) **Esquistos azules**: derivado de rocas con anfíboles sódicos (glaucofano). La asociación incluye $Gln + Lws + Jd \pm Arg$. Esta facies es típica de altas P y bajas a intermedias T.
- 2) **Eclogitas**: nombre tomado de metabasitas con $Omp + Grt \pm Ky$. Representan medias a altas T y altas P de formación.



Facies de Presión Baja

1) **Hornfels de Albita-Epidoto, Hornblendíferos y Piroxénicos:** terrenos metamórficos de contacto y terrenos regionales con alto gradiente geotérmico. No difieren mineralógicamente con sus equivalentes de mayor P a igual T (pero sí texturas).

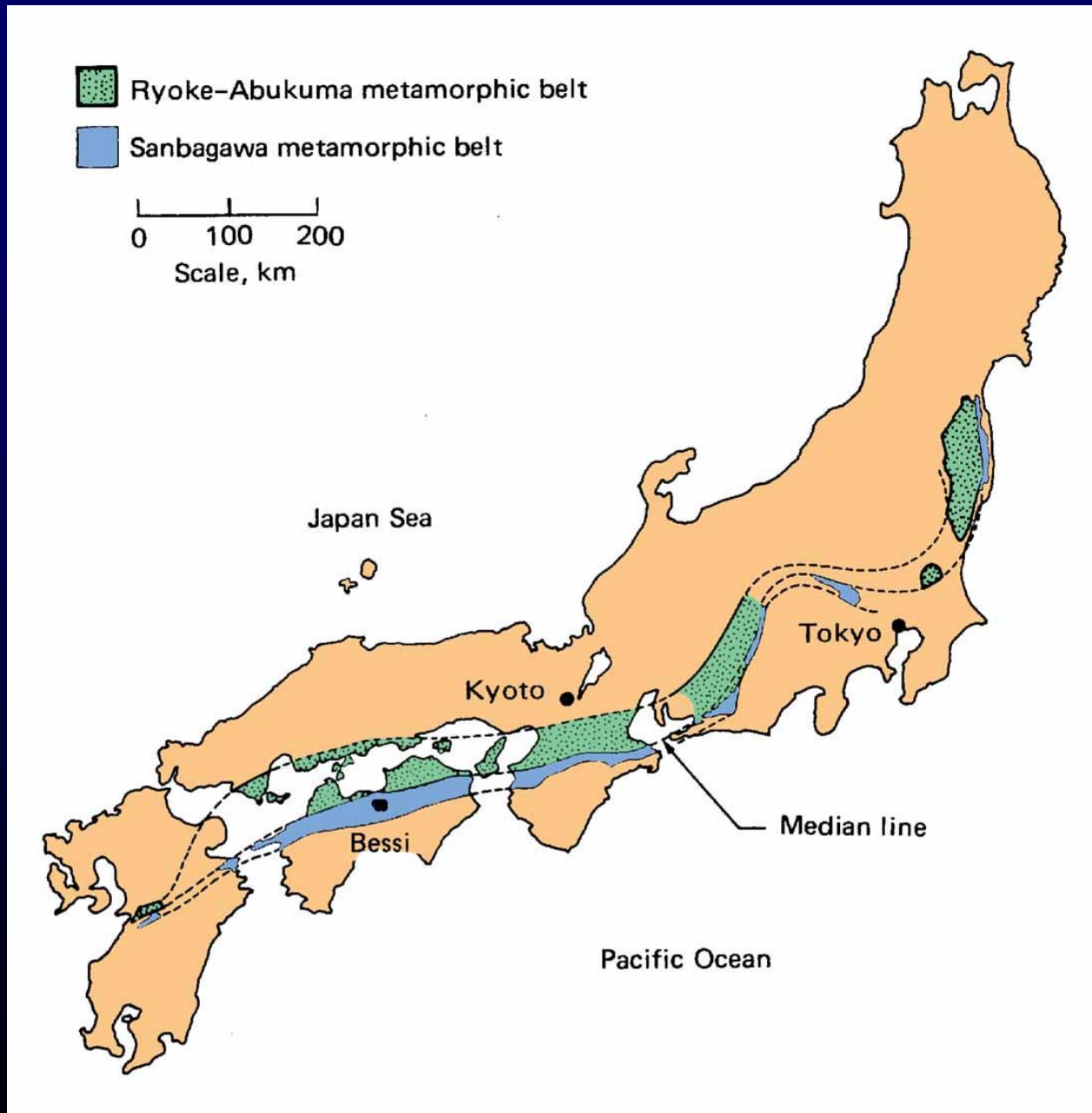
2) **Sanidinita:** facies donde aparecen minerales de muy alta T, generalmente xenolitos en magmas de alta T (pirometamorfismo) o aureolas alrededor de cuerpos intrusivos básicos.



Series de Facies

- Miyashiro (1961) reconoció que al atravesar terrenos de cada vez mayor grado metamórfico se puede seguir uno de varios posibles gradientes geotermales y geobáricos, potencialmente cruzando, a escala de un orógeno, varias secuencias de facies.
- Una serie de facies incluye el concepto de variación de las asociaciones minerales con la T y P, pero controlada por un **gradiente geotermobarométrico (P/T)** particular.

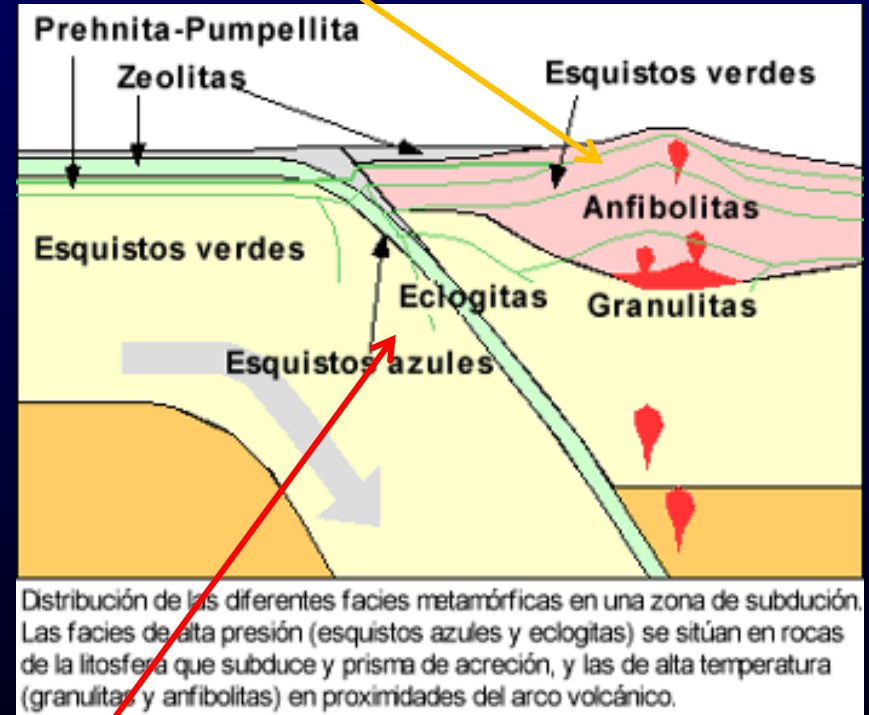
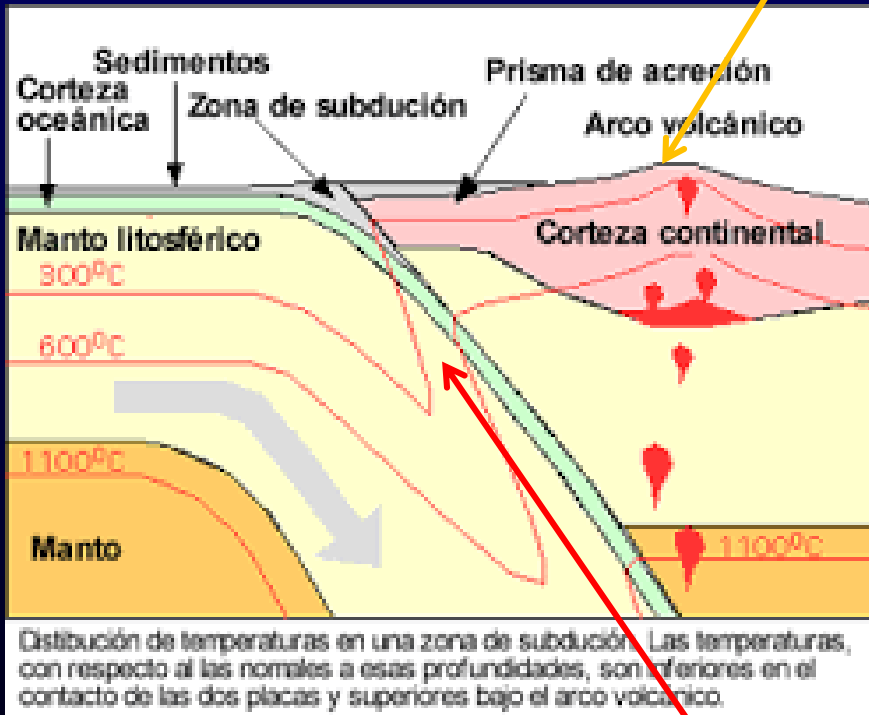
Cinturones metamórficos apareados



Interpretación geotectónica

Miyashiro extendió el concepto de facies y lo relacionó con el contexto geotectónico donde las hallaba.

Abukuma



Sanbagawa

Series de Facies

- Miyashiro (1961) propuso cinco series de facies, llamadas según una localidad típica representativa de cada una de ellas.
 - ◆ 1. Series de Facies de Contacto (muy baja-P)
 - ◆ 2. Series de Facies Buchan o Abukuma (baja P regional)
 - ◆ 3. Series de Facies Barroviana (P media regional)
 - ◆ 4. Series de Facies Sanbagawa (alta P, moderada T)
 - ◆ 5. Series de Facies Franciscana (muy alta P, baja T)

Series b3ricas (m3s simples)

Serie de alta P/T: zonas de subducci3n, antearco

Serie de media P/T: or3genos normales o Barrovianos. En la parte de alta T de facies de anfibolitas comienza la fusi3n parcial si P_{H_2O} es suficiente, si no se forman granulitas.

Serie de baja P/T: fajas orog3nicas de alto flujo termal, zonas de rift, met. contacto.

