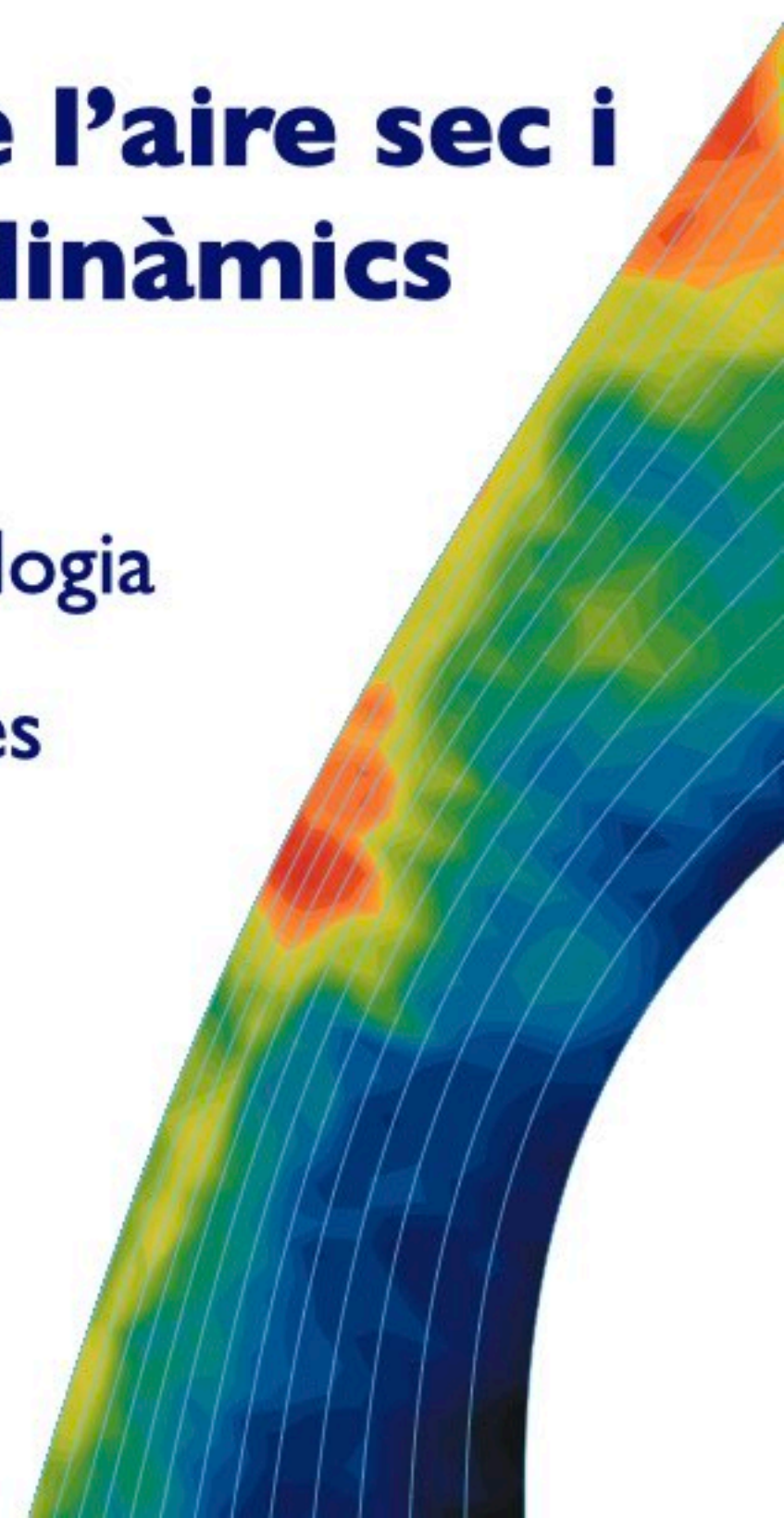


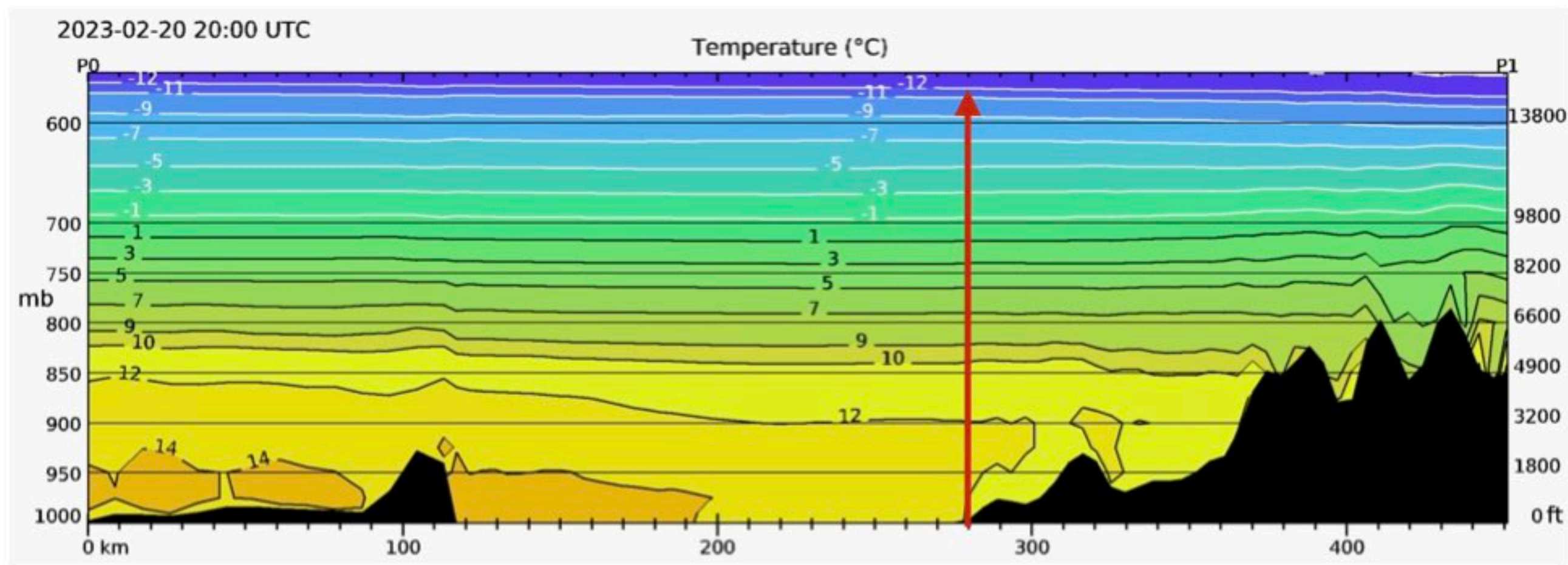
Classe 5: Termodinàmica de l'aire sec i humit. Diagrames termodinàmics

Processos atmosfèrics i hidrologia

Prof. Daniel Sempere Torres
Prof. Shinju Park

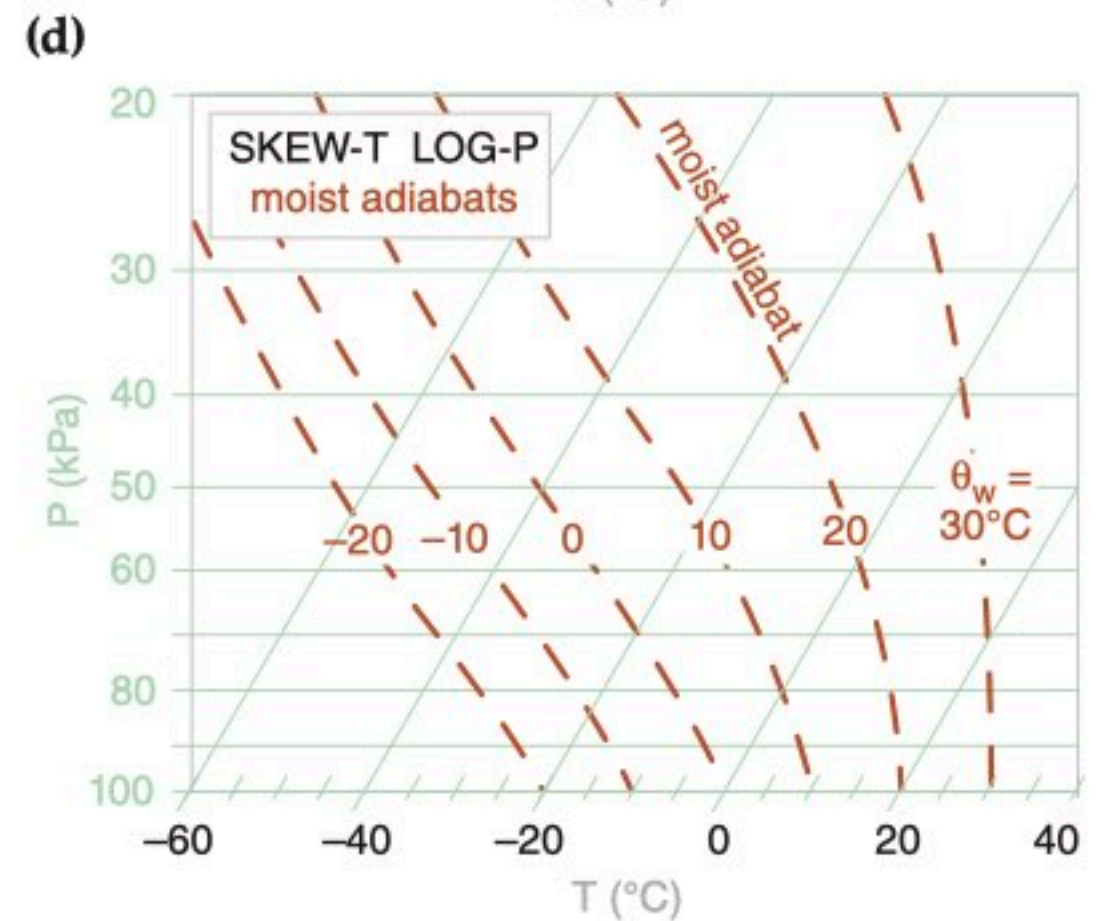
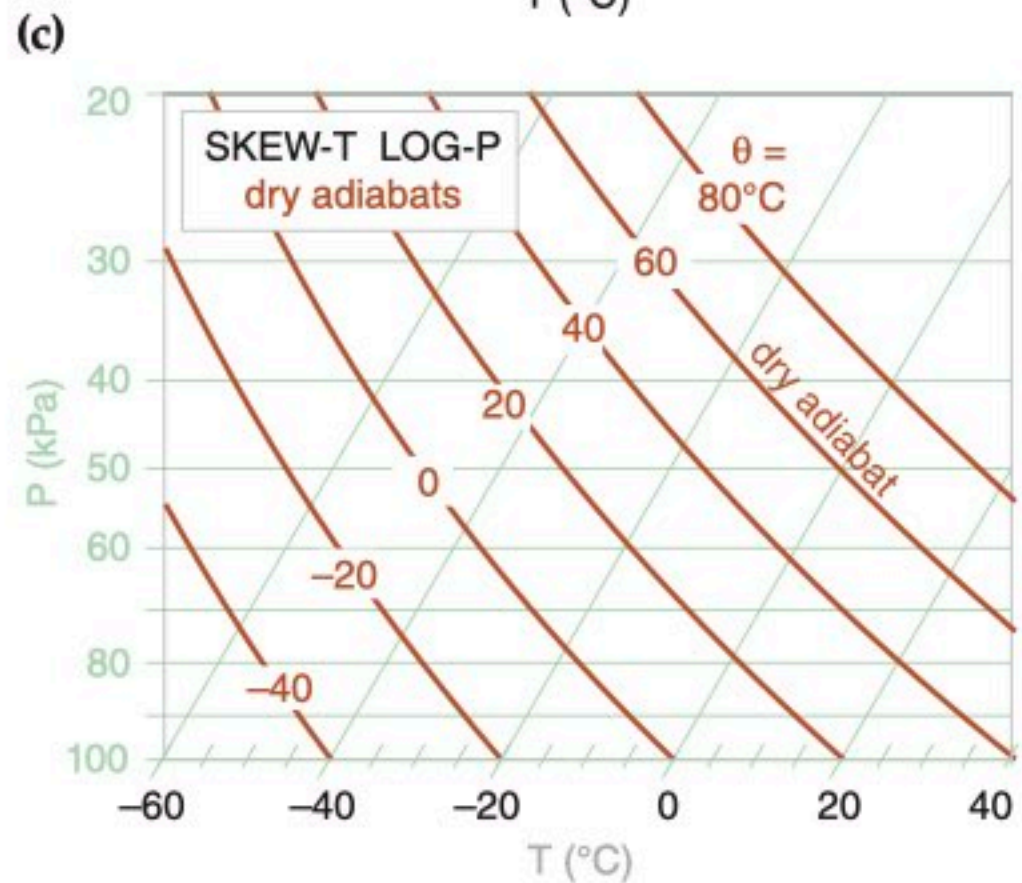
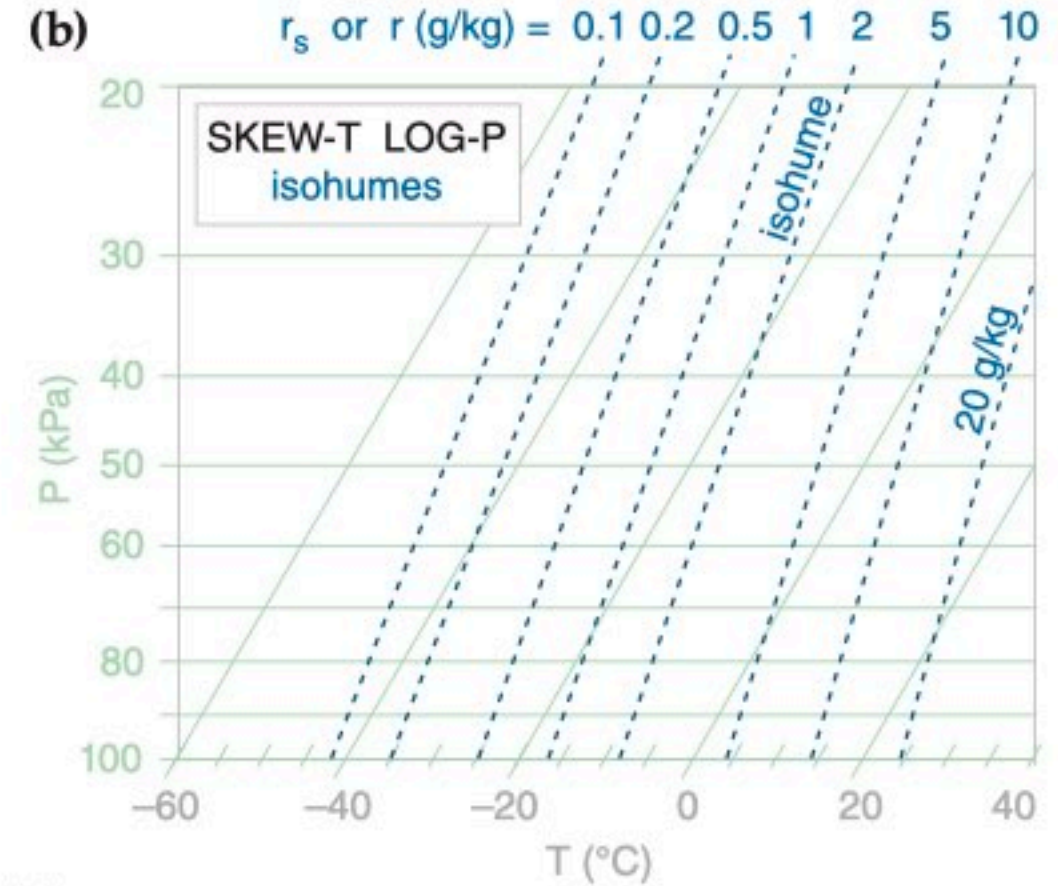
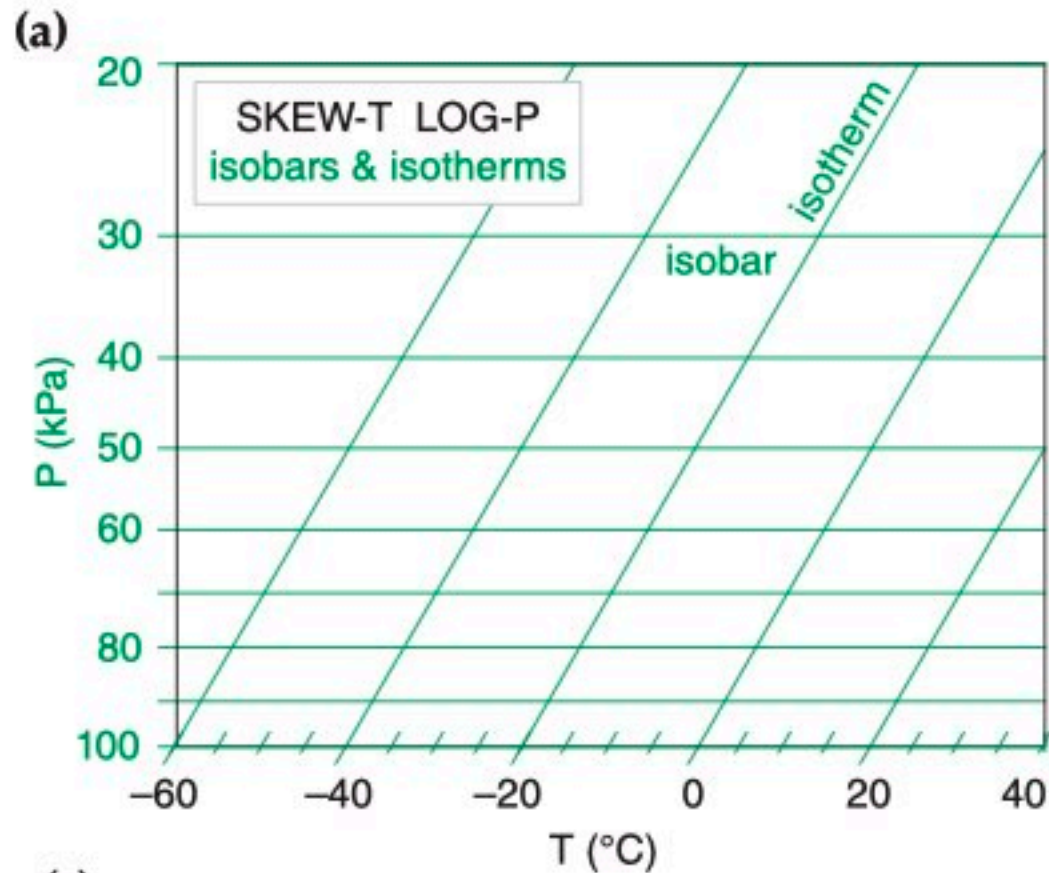


Radiosondatges atmosfèrics

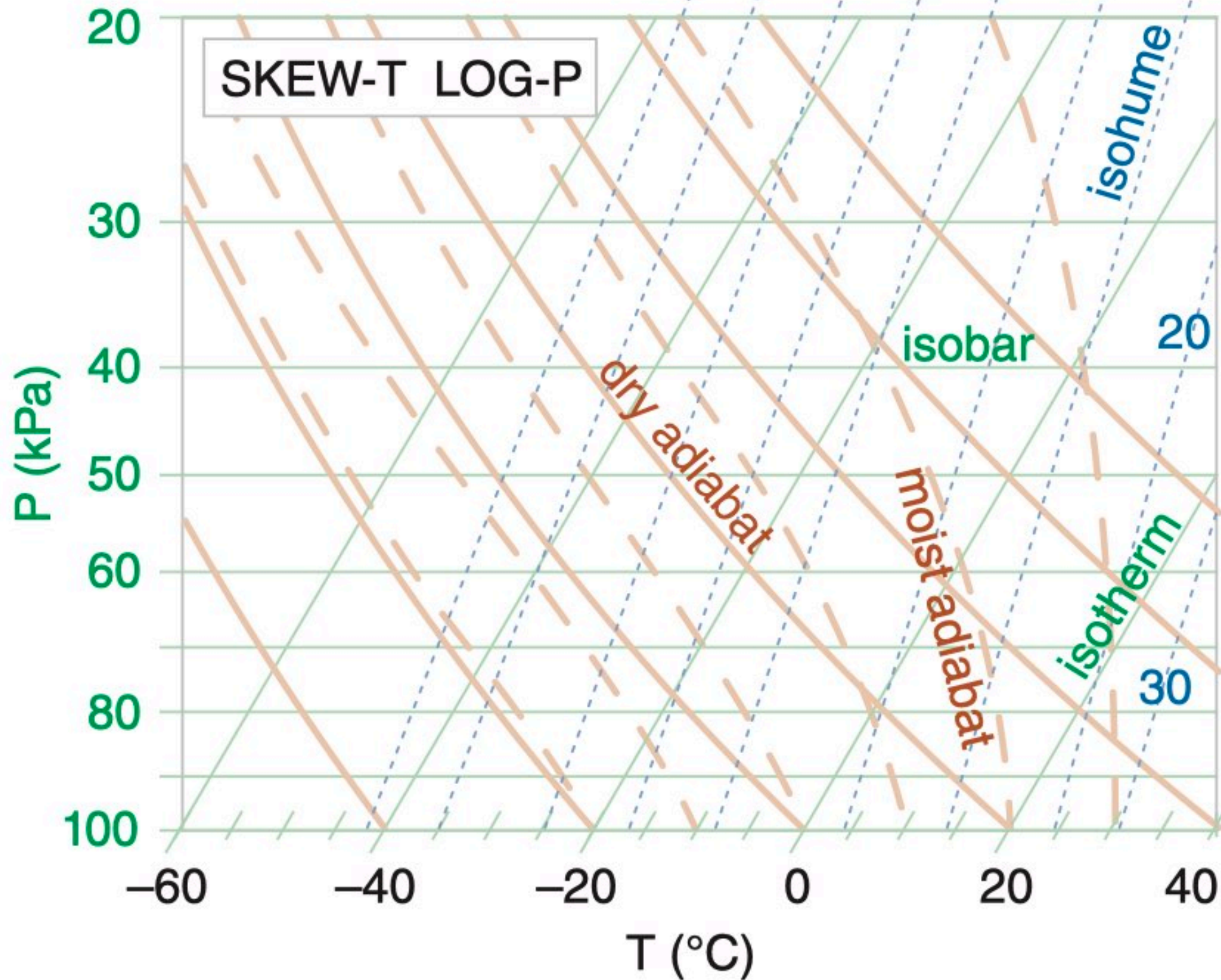


L'evolució en alçada de la temperatura de l'aire i de la temperatura de rosada (que és una mesura de la seva humitat) es pot mesurar mitjançant radiosondatges atmosfèrics

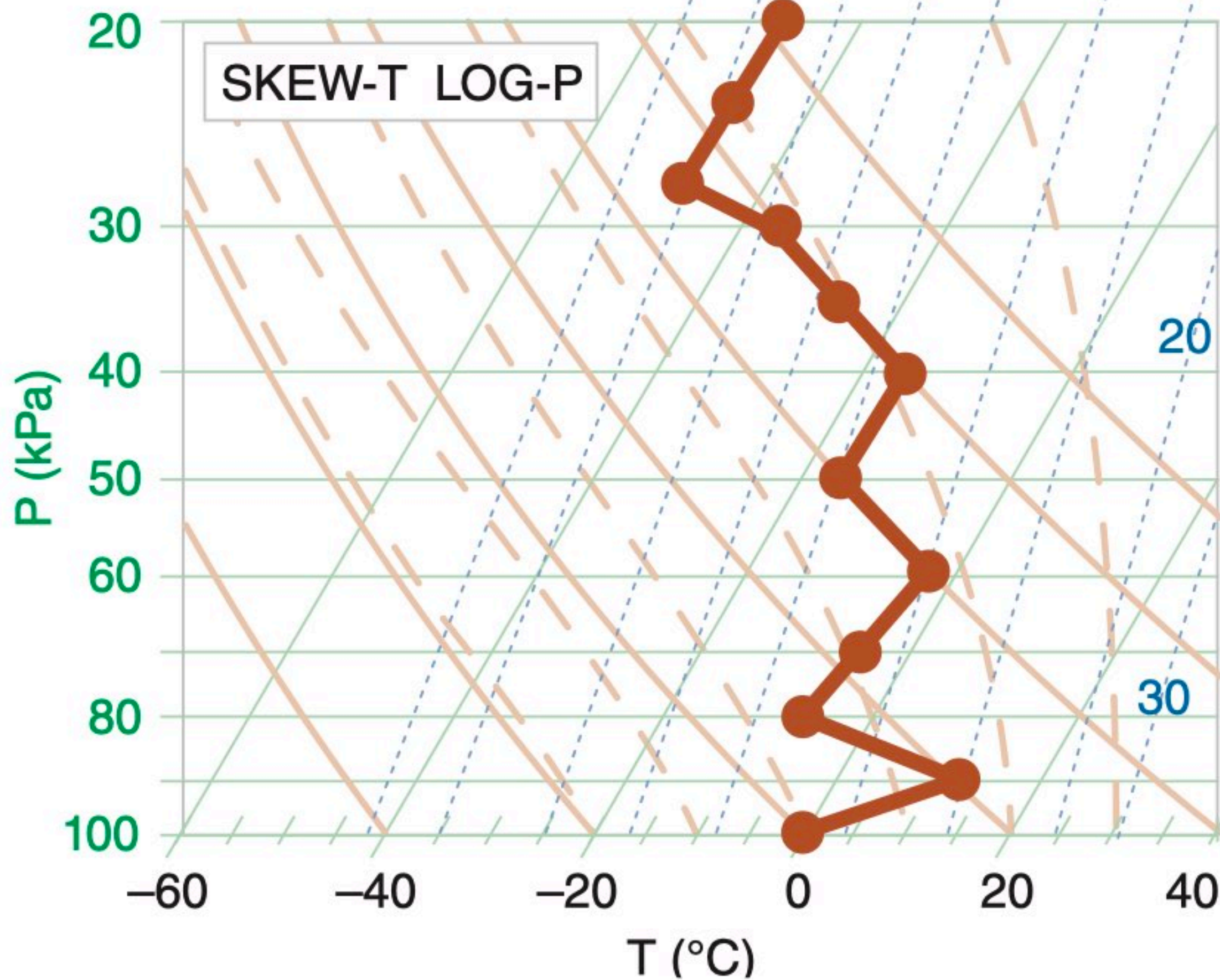
El diagrama termodinàmic SKEW-T LOG-P



r_s or r (g/kg) = 0.1 0.2 0.5 1 2 5 10



(a) r_s or r (g/kg) = 0.1 0.2 0.5 1 2 5 10



Exercici 3:

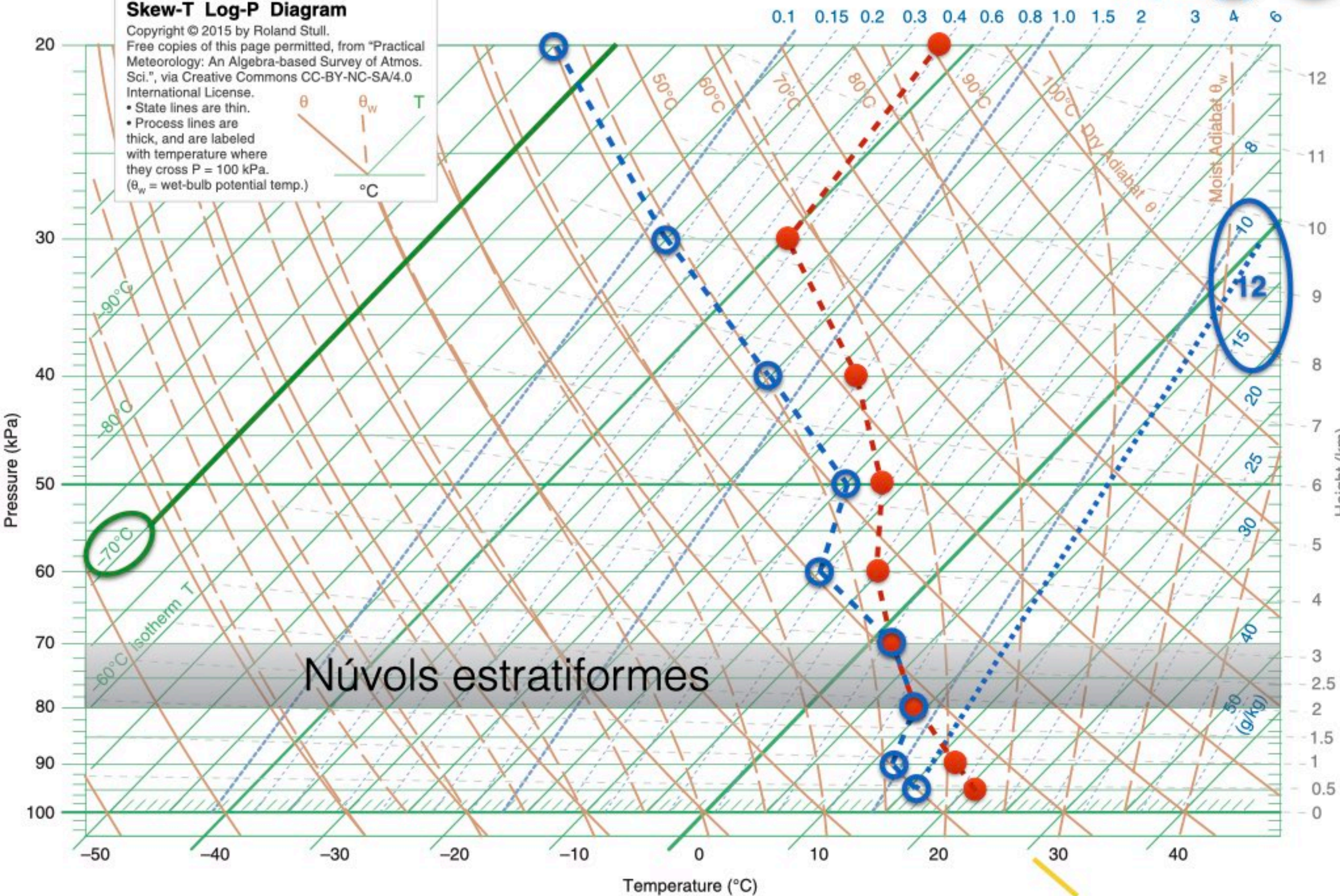
Dibuixeu en el diagrama termodinàmic (Skew-T - Log P) els valors de Temperatura i temperatura de rosada del radiosondatge donat per:

P (kPa)	T ($^{\circ}\text{C}$)	T_d ($^{\circ}\text{C}$)
95	21	16
90	17	12
80	9.0	9.0
70	2.0	2.0
60	-5	-10
50	-12	-15
40	-23	-30
30	-40	-50
20	-45	-75

Discutiu si els valors tenen sentit (pot ser $T_d = T$, i $T_d > T$?) i si creieu que es produeix boira.

Entre quines alçades pot haver-hi un estrat de núvols?

Mixing Ratio (g/kg)



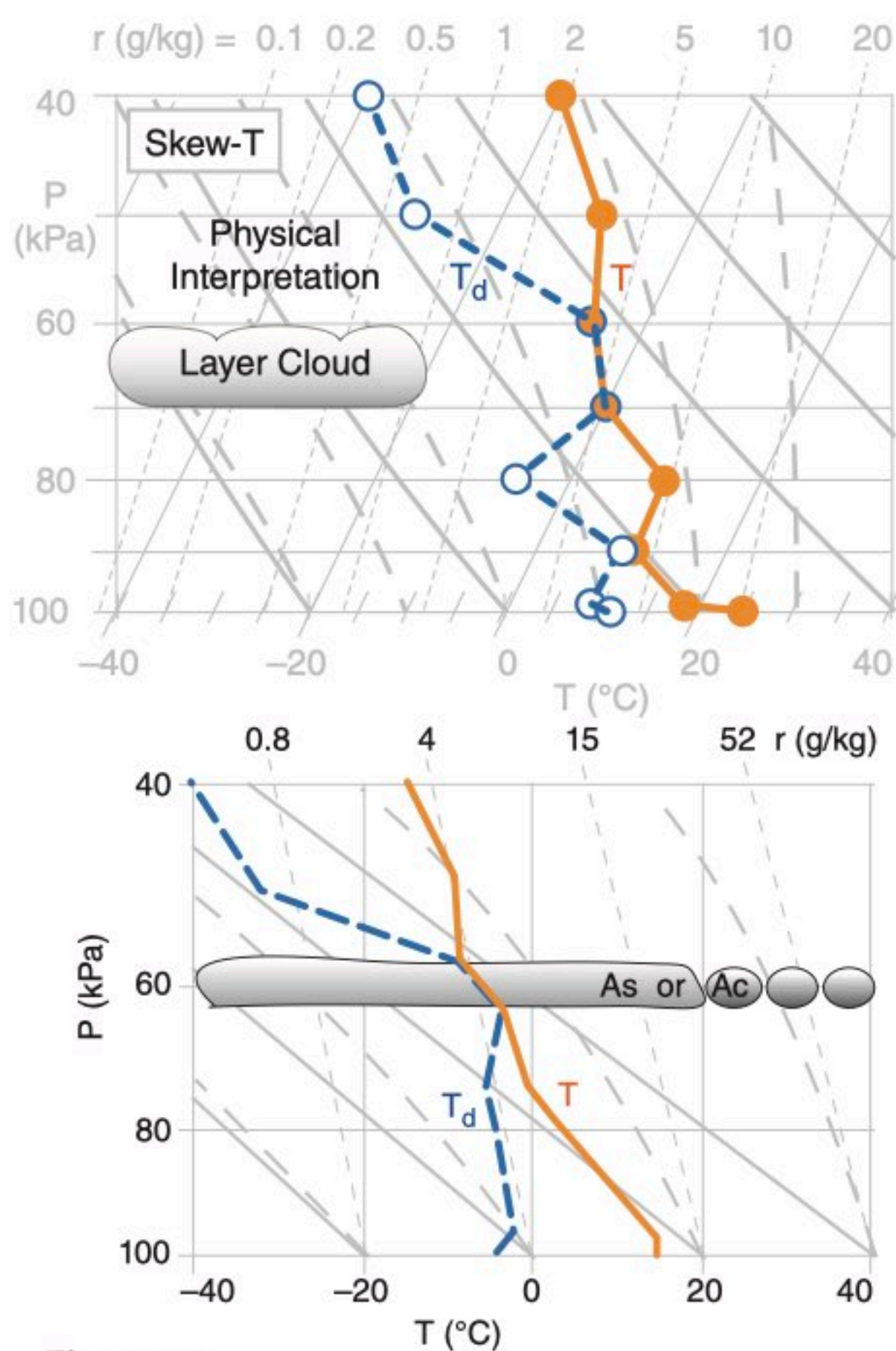


Figure 6.6

Characteristic sounding for stratiform clouds. Shown are altostratus (As) and altocumulus (Ac); mid-level stratiform clouds.

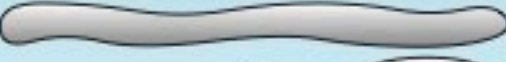
z	Height	Name	Appearance	Remarks
11	high	cirrus		ice crystals
		cirrostratus		ice, halo
		cirrocumulus		mix, lumpy
5	mid	altostratus		mix, corona
		altocumulus		mix
	low	stratus		liq.(& mix)
		nimbostratus		drizzle
0				

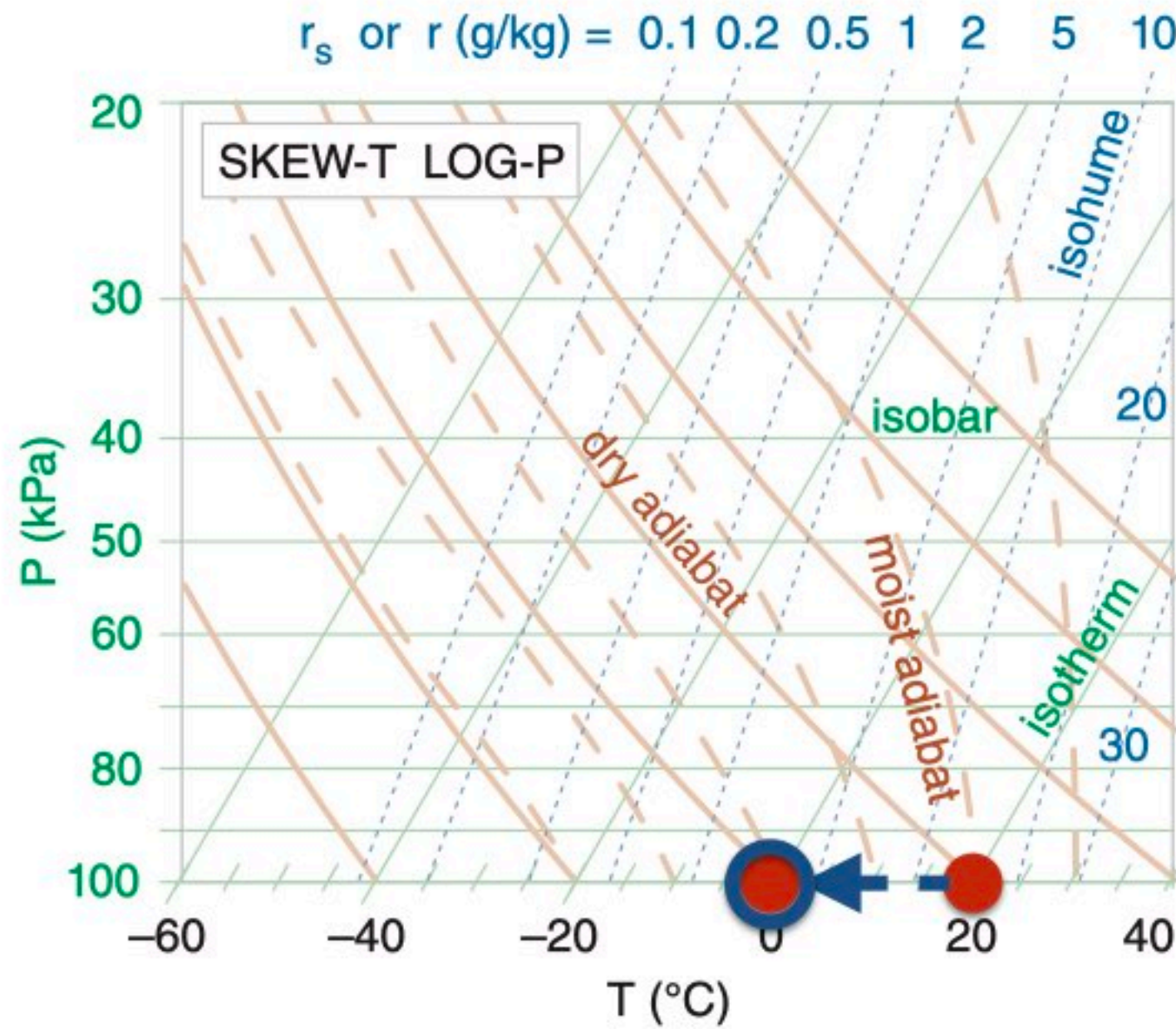
Figure 6.5

Cloud identification: **stratiform**. Layered clouds caused by nearly horizontal advection of moisture by winds. "Mix" indicates a mixture of liquid and solid water particles. Heights "z" are only approximate — see Table 6-1 for actual ranges. The WMO (International Cloud Atlas, 2017) notes that nimbostratus can span mid and low altitudes, and sometimes even high altitudes.

Boira (Fog)

- a) **Per refredament radiatiu** de la superfície (refredament a pressió constant de l'aire en contacte amb ella).

Passa essencialment durant les nit fredes, i dona lloc a **la boira, la rosada i el gebre** (que poden durar al matí fins que el sol no escalfi prou la superfície).



Boira (Fog)

- a) **Per refredament radiatiu** de la superfície (refredament a pressió constant de l'aire en contacte amb ella).

Passa essencialment durant les nit fredes, i dona lloc a **la boira, la rosada i el gebre** (que poden durar al matí fins que el sol no escalfi prou la superfície).



Boira (Fog)

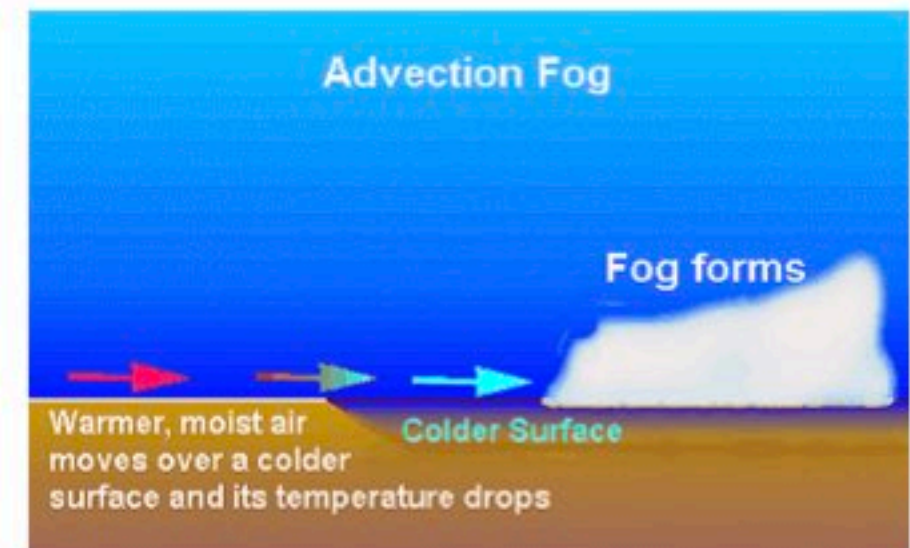
- a) **Per refredament radiatiu** de la superfície (refredament a pressió constant de l'aire en contacte amb ella).

Passa essencialment durant les nit fredes, i dona lloc a **la boira, la rosada i el gebre** (que poden durar al matí fins que el sol no escalfi prou la superfície).

- b) **Per advecció** d'aire més calent sobre d'una superfície més freda



Warm humid air moves over cold water, chilling the air to its dewpoint.



Objectiu: Comprendre la variabilitat dels fenòmens i de la precipitació

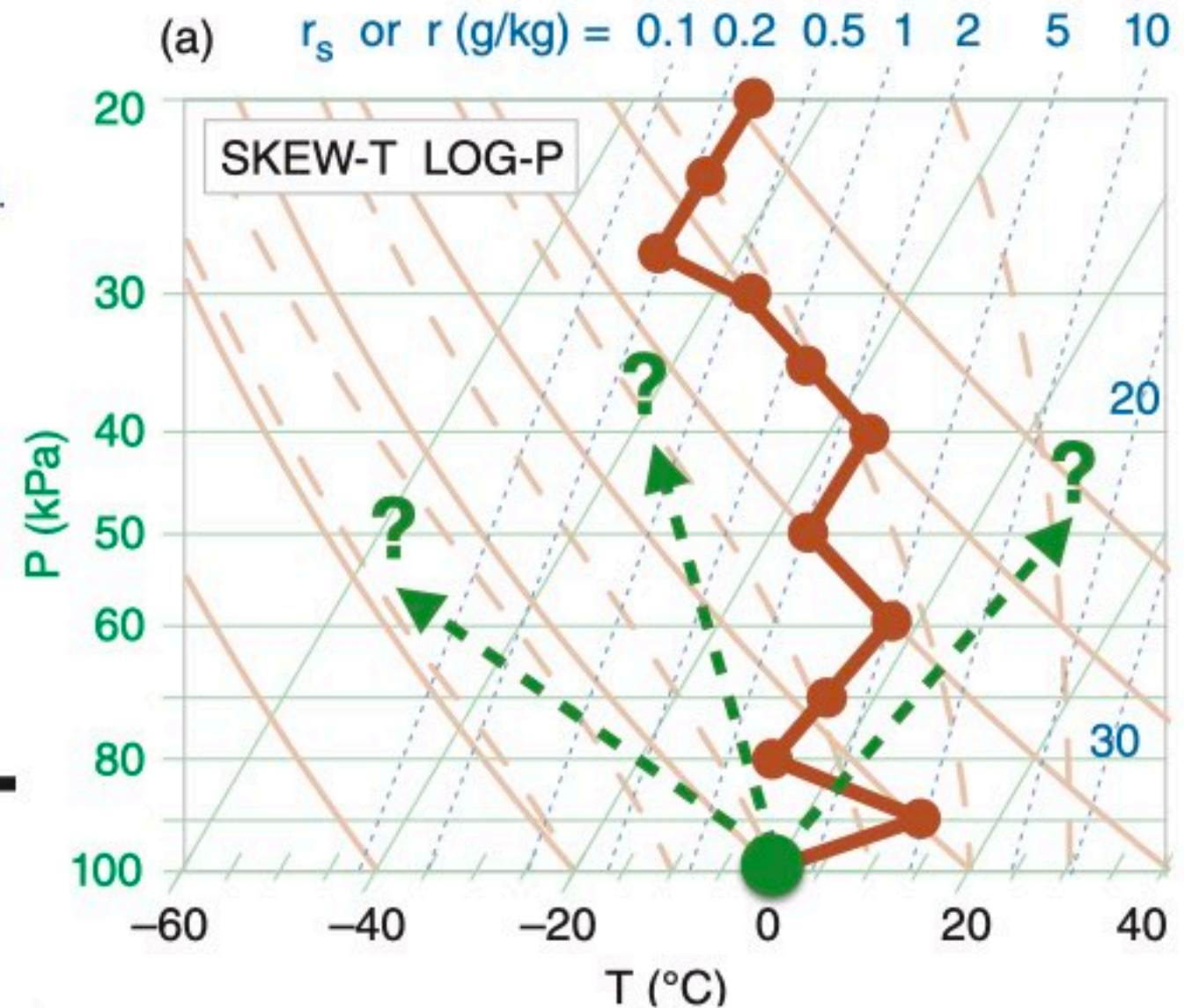
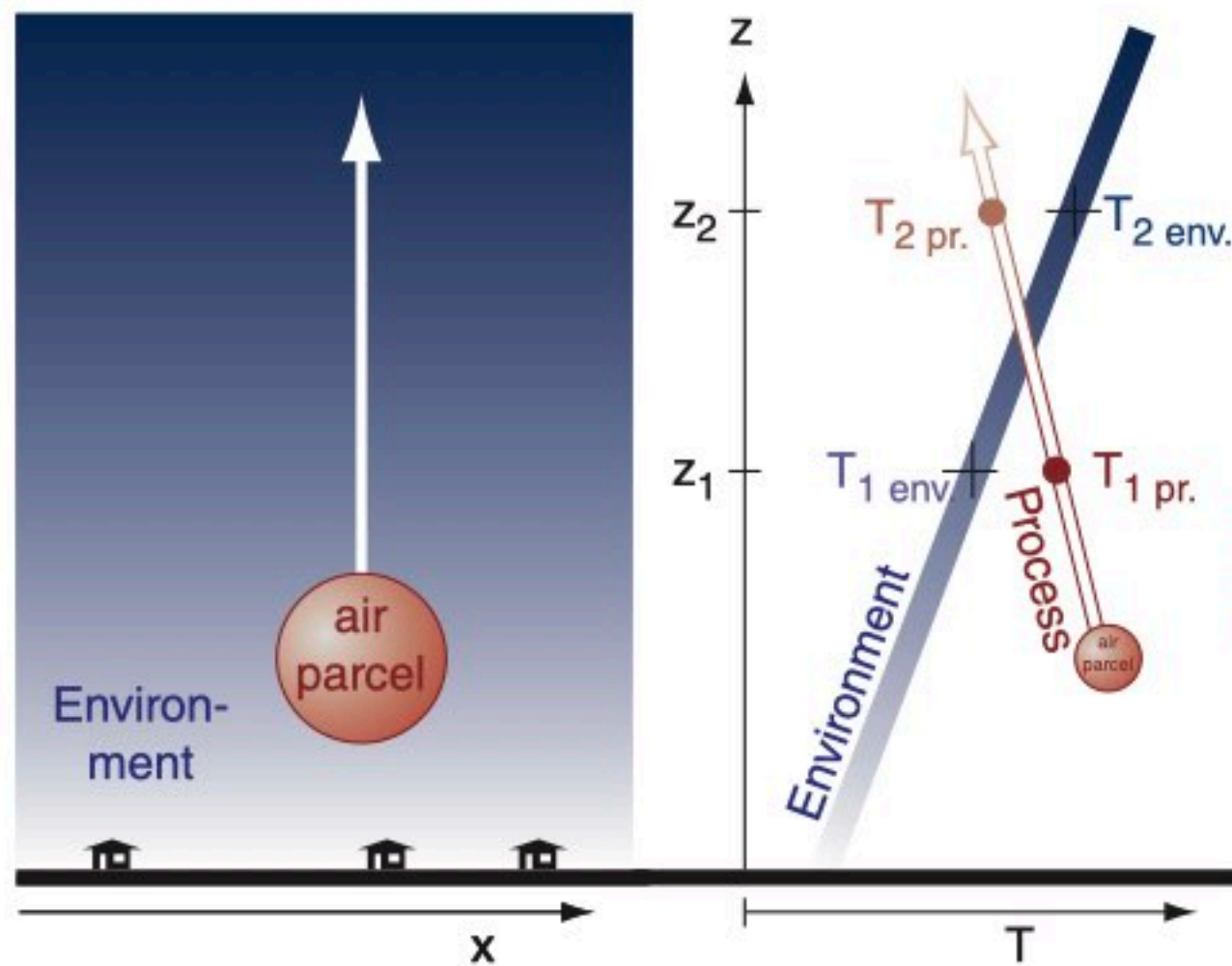


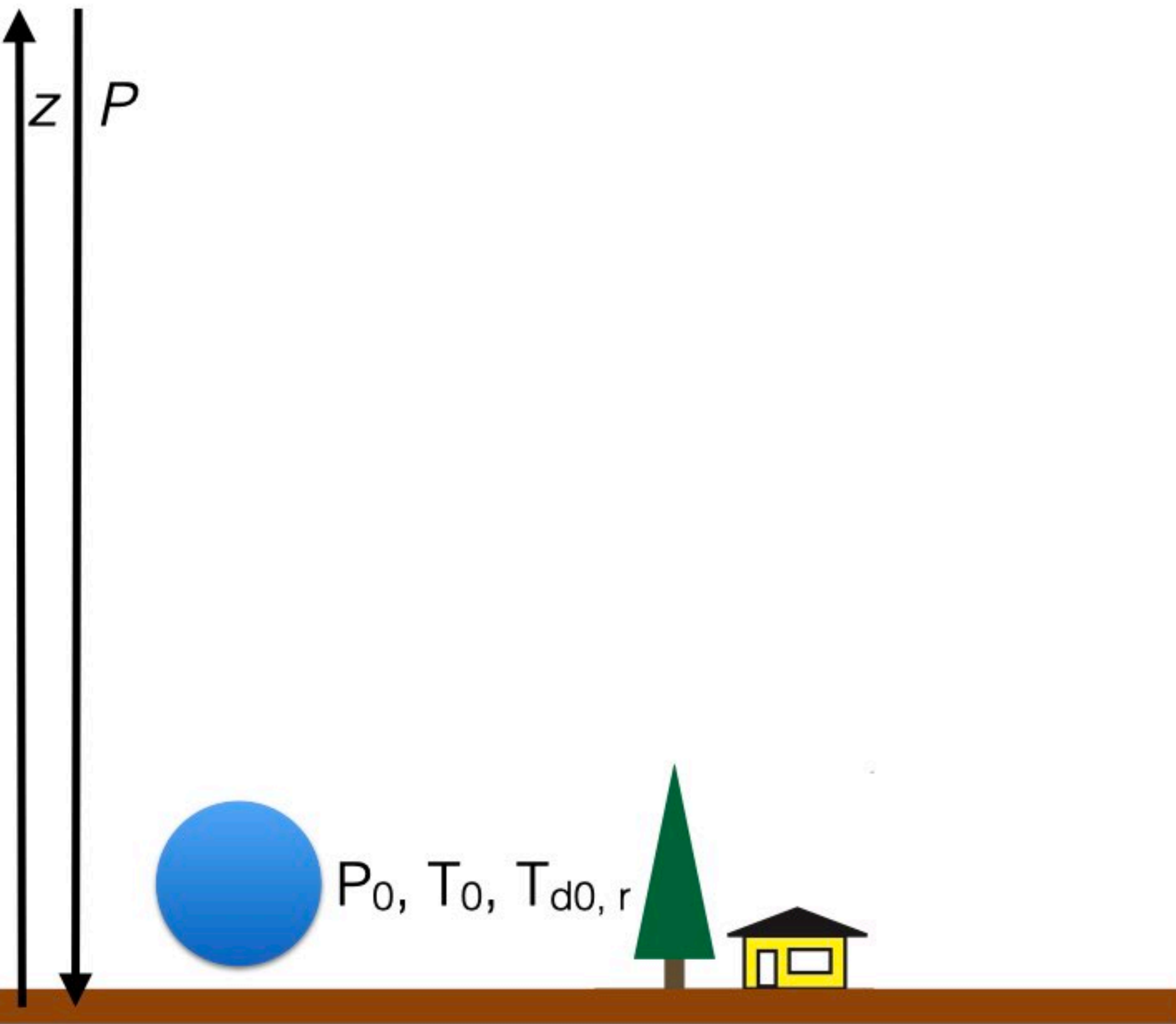
<https://www.youtube.com/watch?v=kuFFQVoh254>

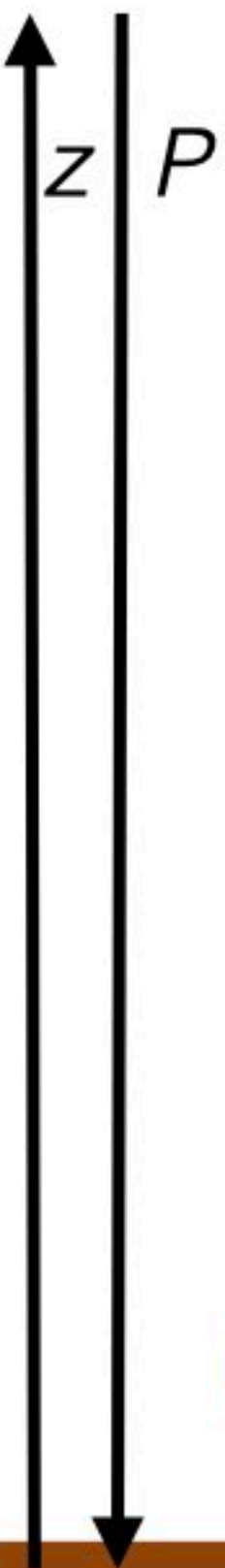


https://twitter.com/alfons_pc/status/1422101429137838081

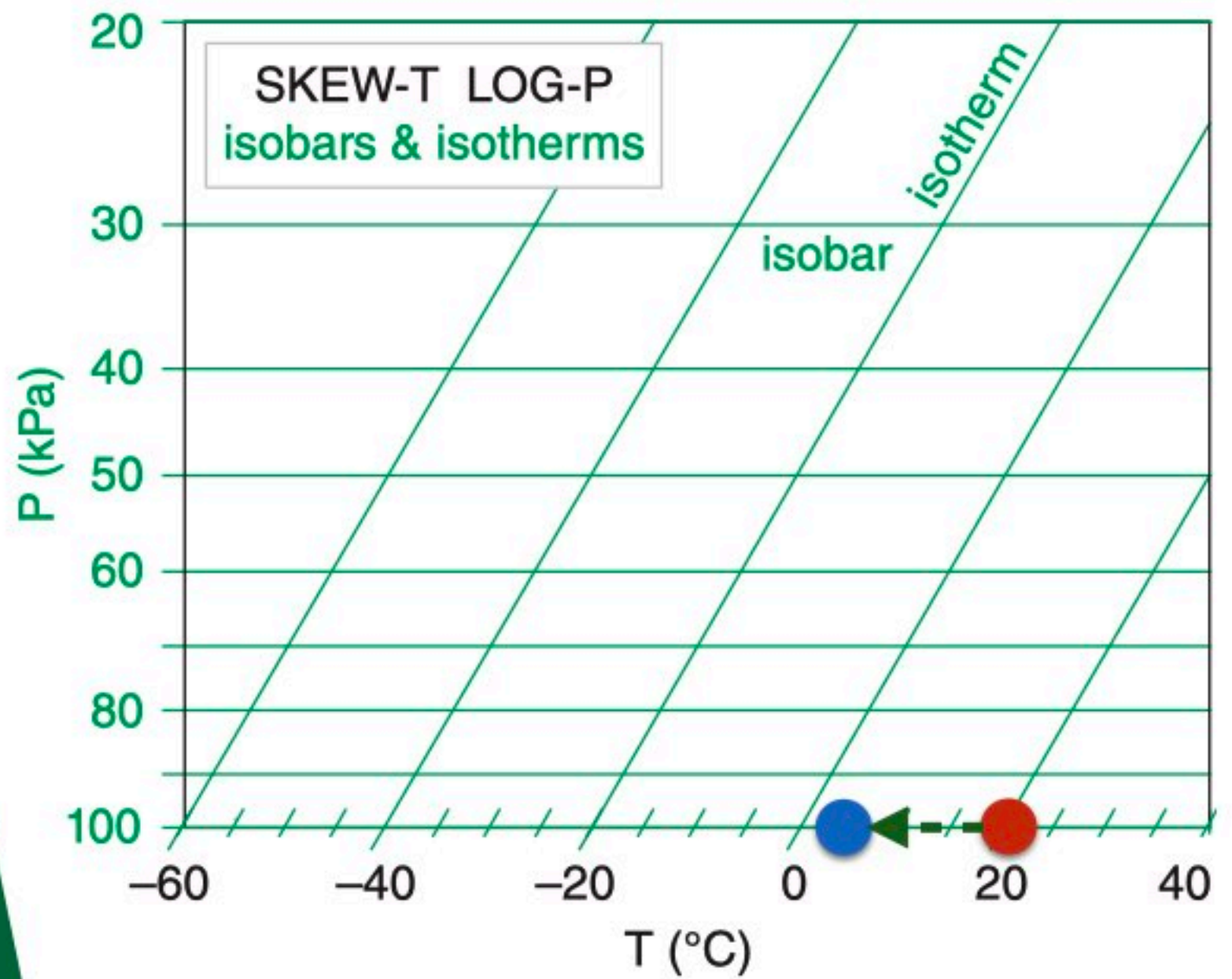
Compararem el perfil vertical de temperatura i humitat de l'atmosfera (radiosondatge) amb l'evolució d'una bombolla d'aire que es mou en alçada (ascendeix o descendeix) per un fenomen atmosfèric donat





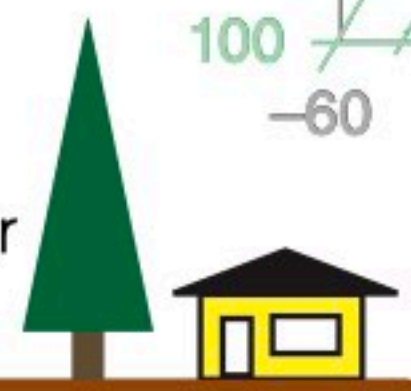
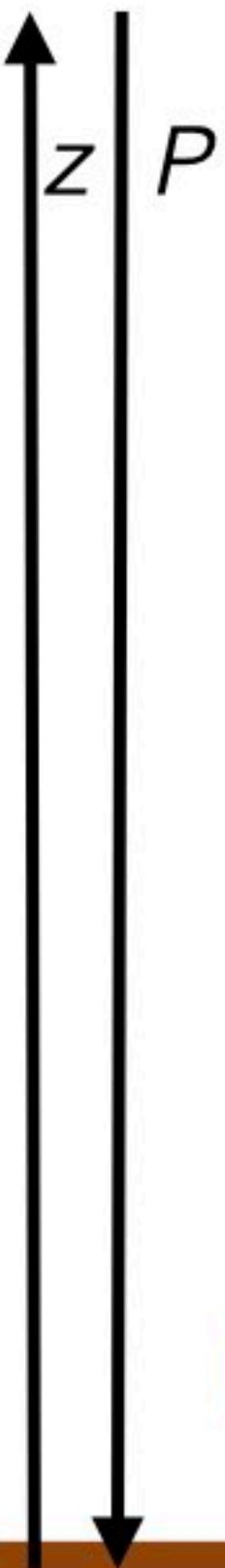


P_0, T_0, T_{d0}, r



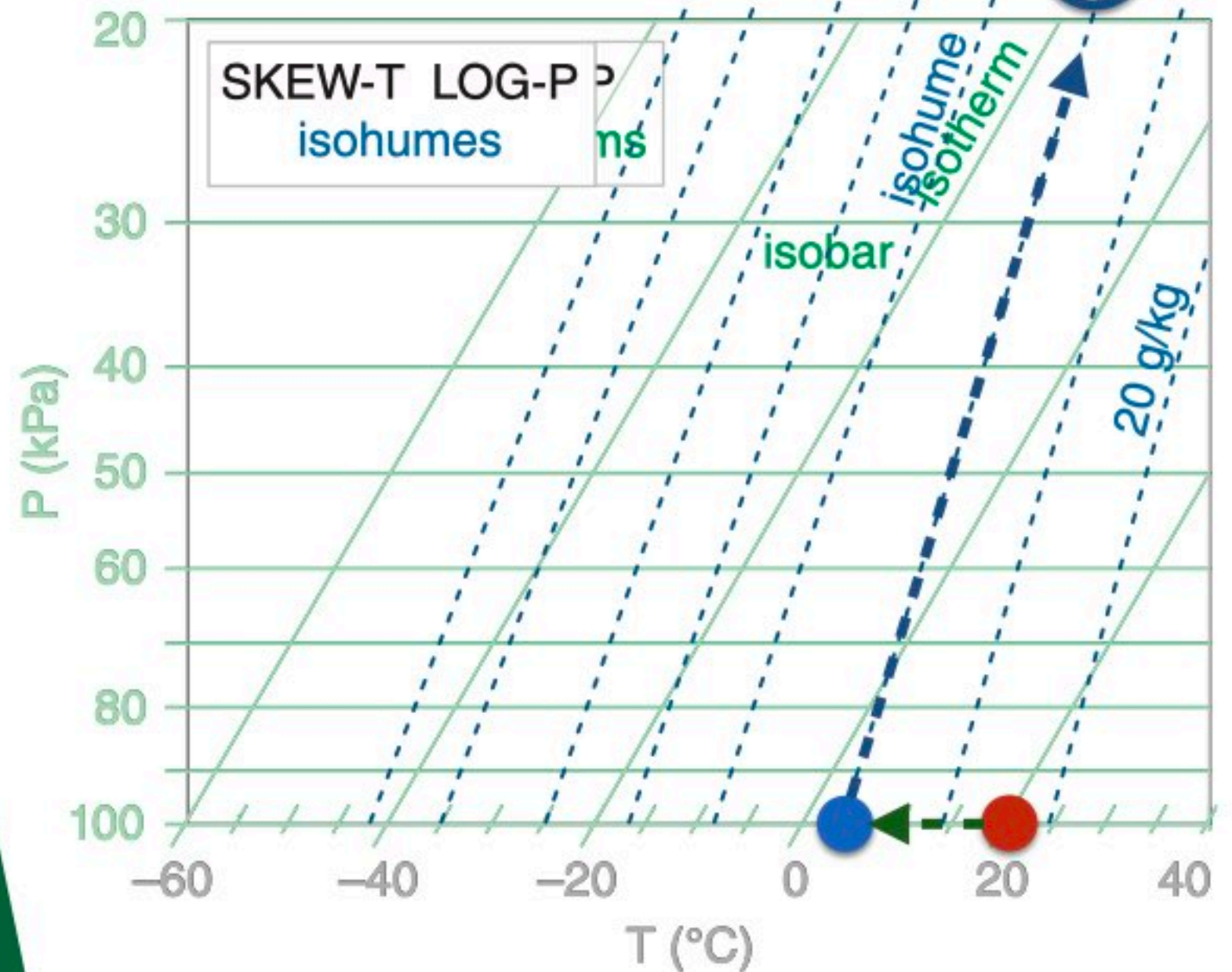
100 kPa, 20 °C, 5 °C, r

humitat de l'aire expressada en proporció de mescla r



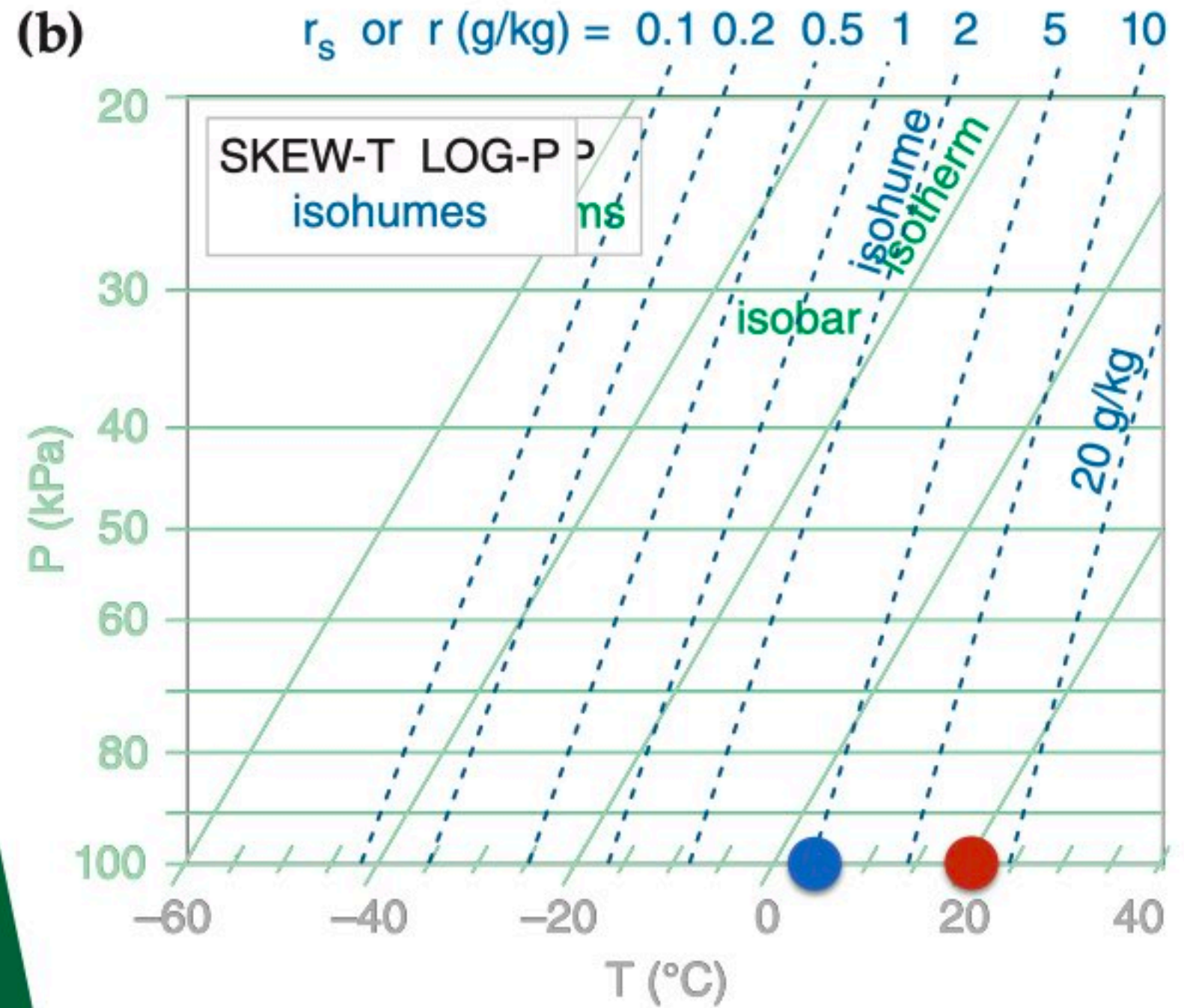
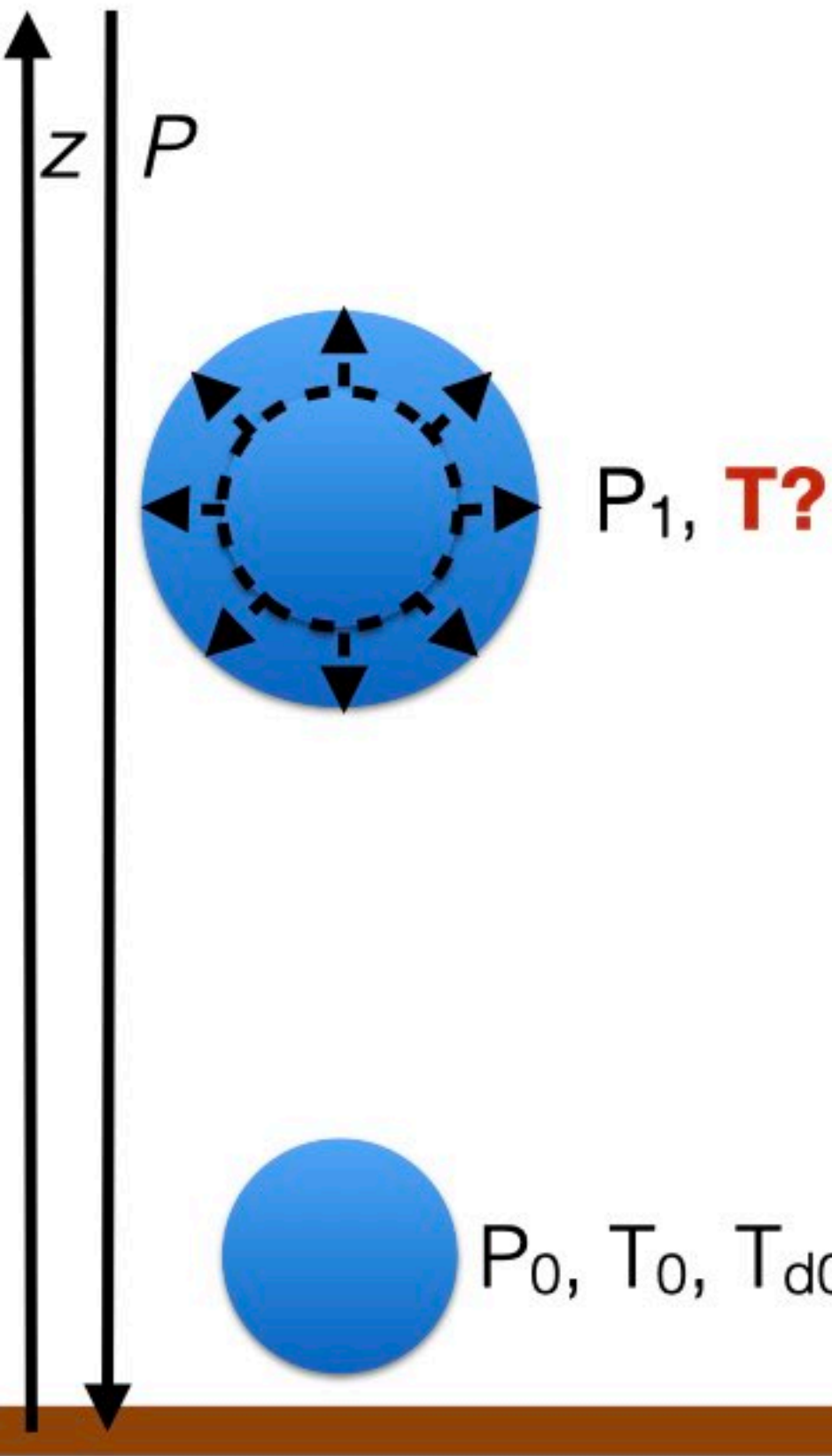
(b)

r_s or r (g/kg) = 0.1 0.2 0.5 1 2 5 10



100 kPa, 20, °C, 5, °C/g/kg

humitat de l'aire expressada en proporció de mescla r



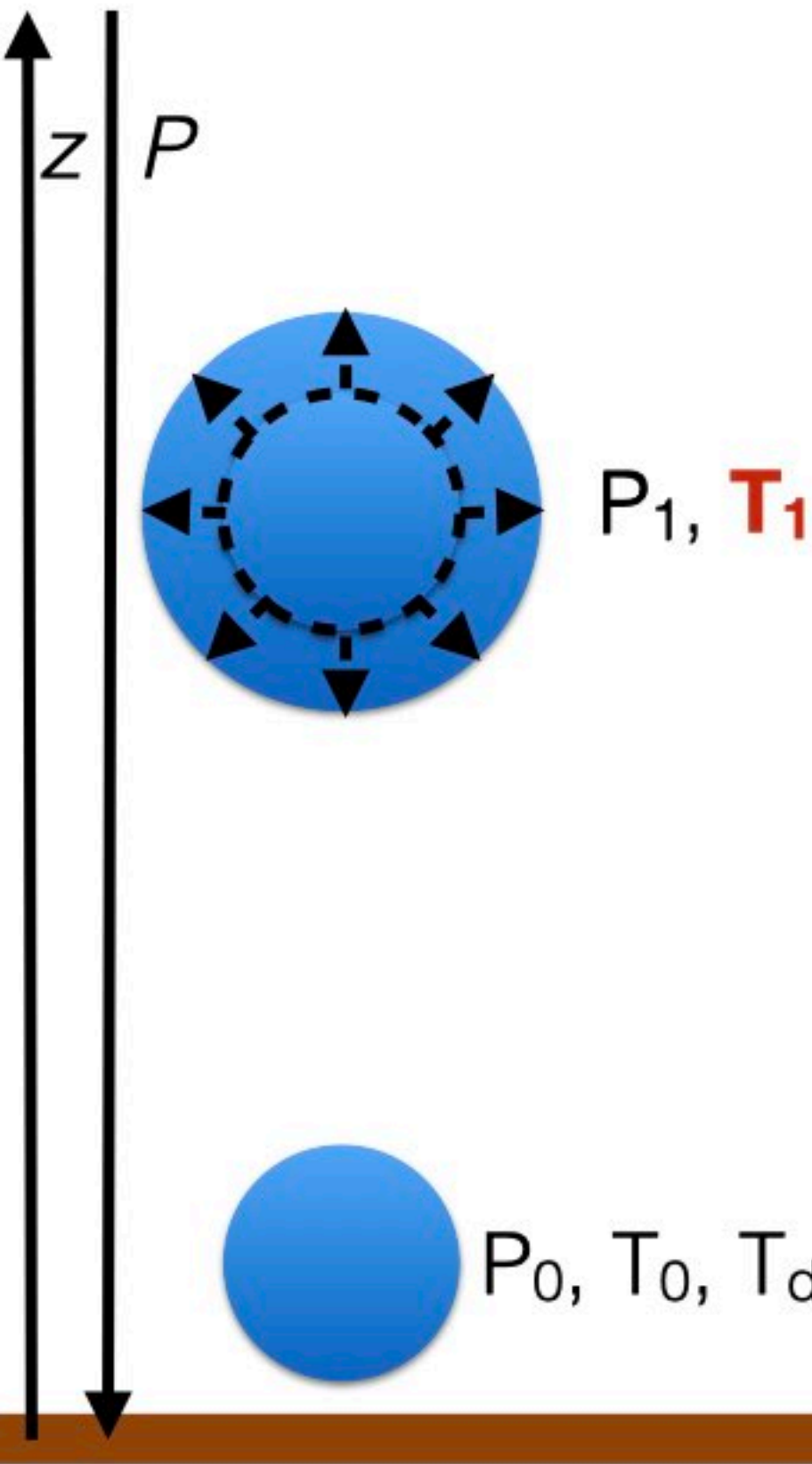
L'aire atmosfèric es comporta com un aïllant tèrmic, i evoluciona de manera que li costa intercanviar calor amb el seu ambient en períodes de temps curts (minuts).

Parlarem de masses d'aire atmosfèric que tenen tendència a conservar les seves característiques de temperatura i humitat, i només les canvien en temps llargs (varies hores o dies)

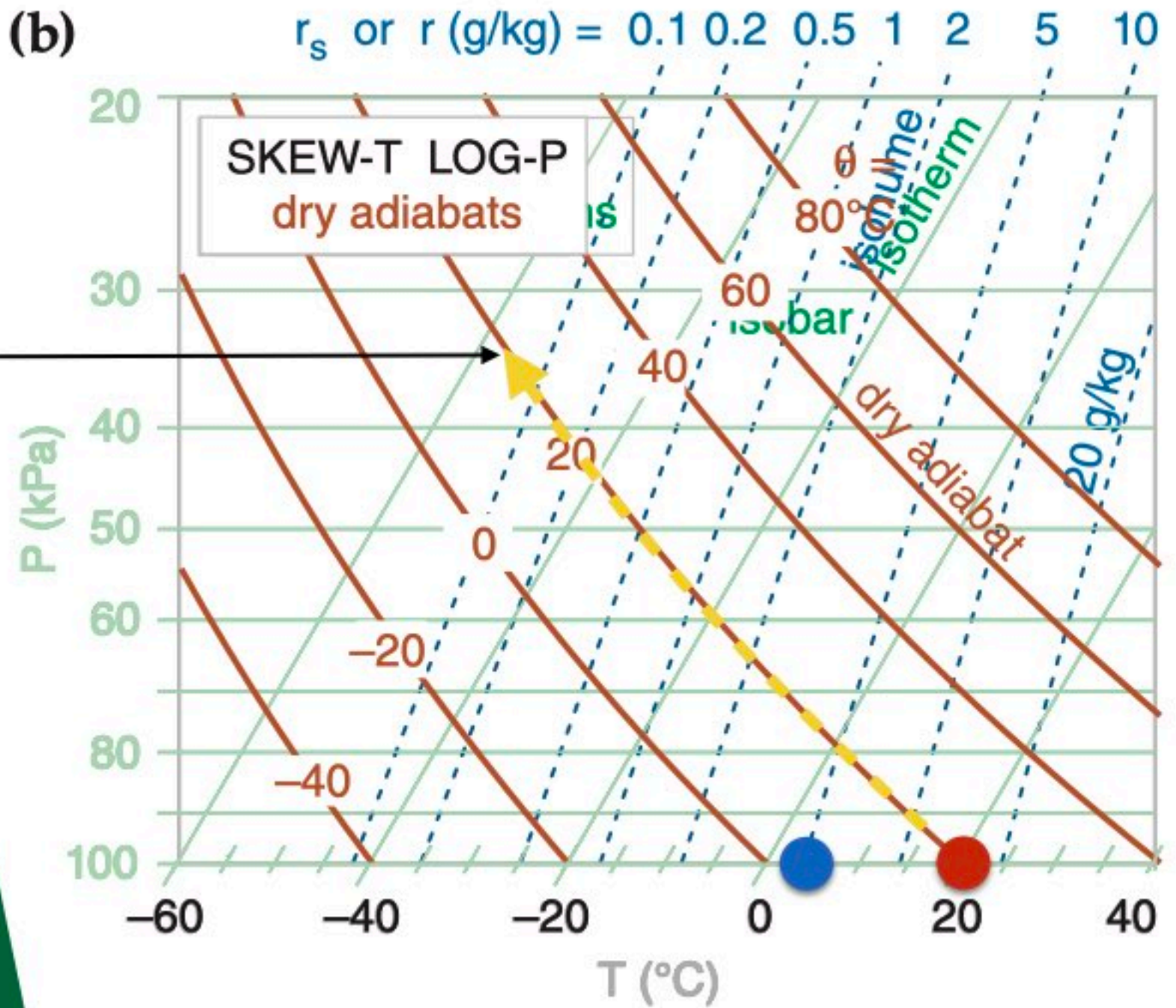
L'EVOLUCIÓ DE L'AIRE ATMOSFÈRIC SEGUEIX GENERALMENT **PROCESSOS ADIABÀTICS**

Procés en el qual la bombolla d'aire realitza una expansió/compressió,
realitzant un treball sense intercanviar calor amb el seu entorn

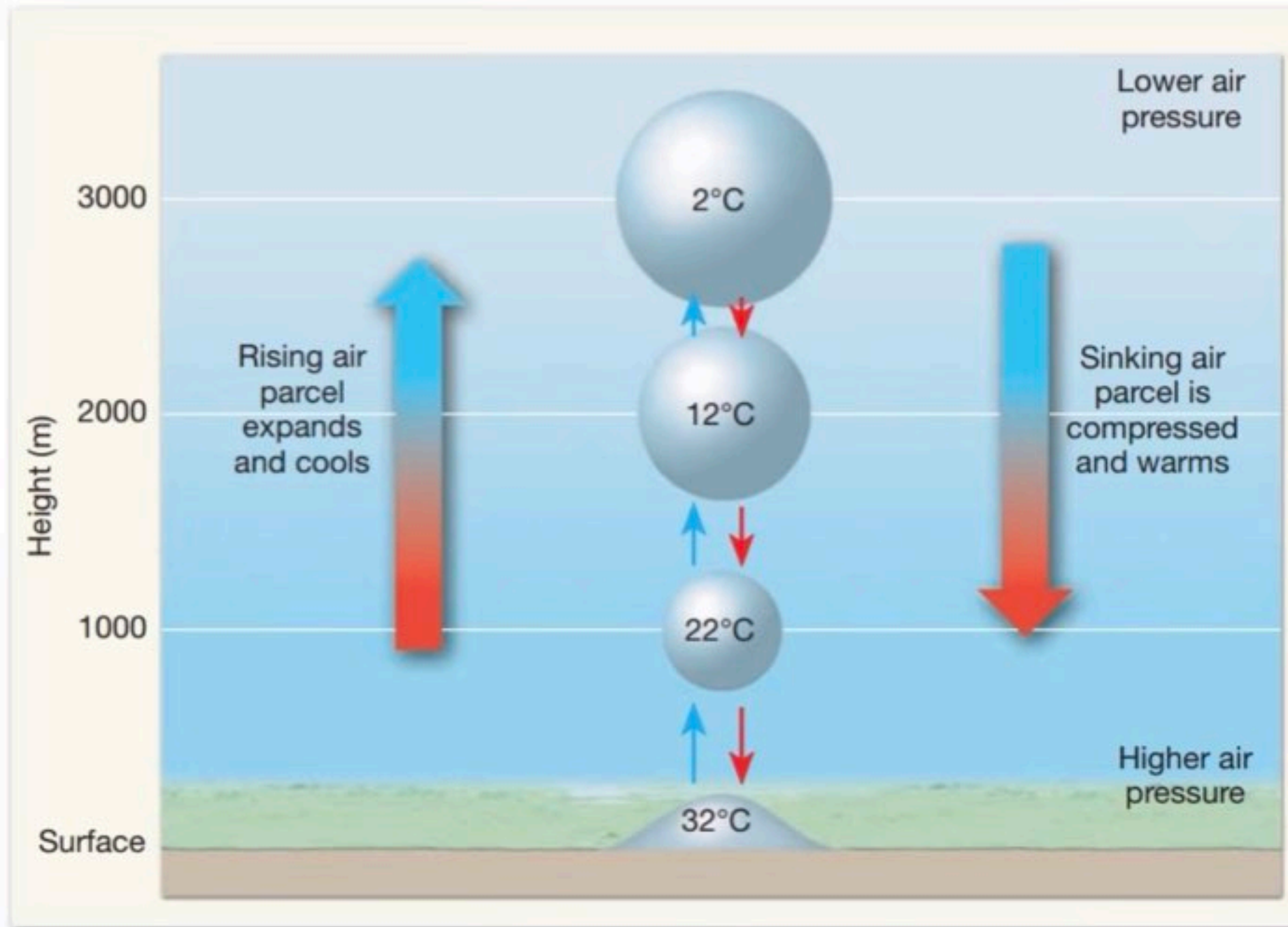
humitat de l'aire expressada en proporció de mescla r



(b)



1) PROCÉS ADIABÀTIC SEC: sense que hi hagi condensació

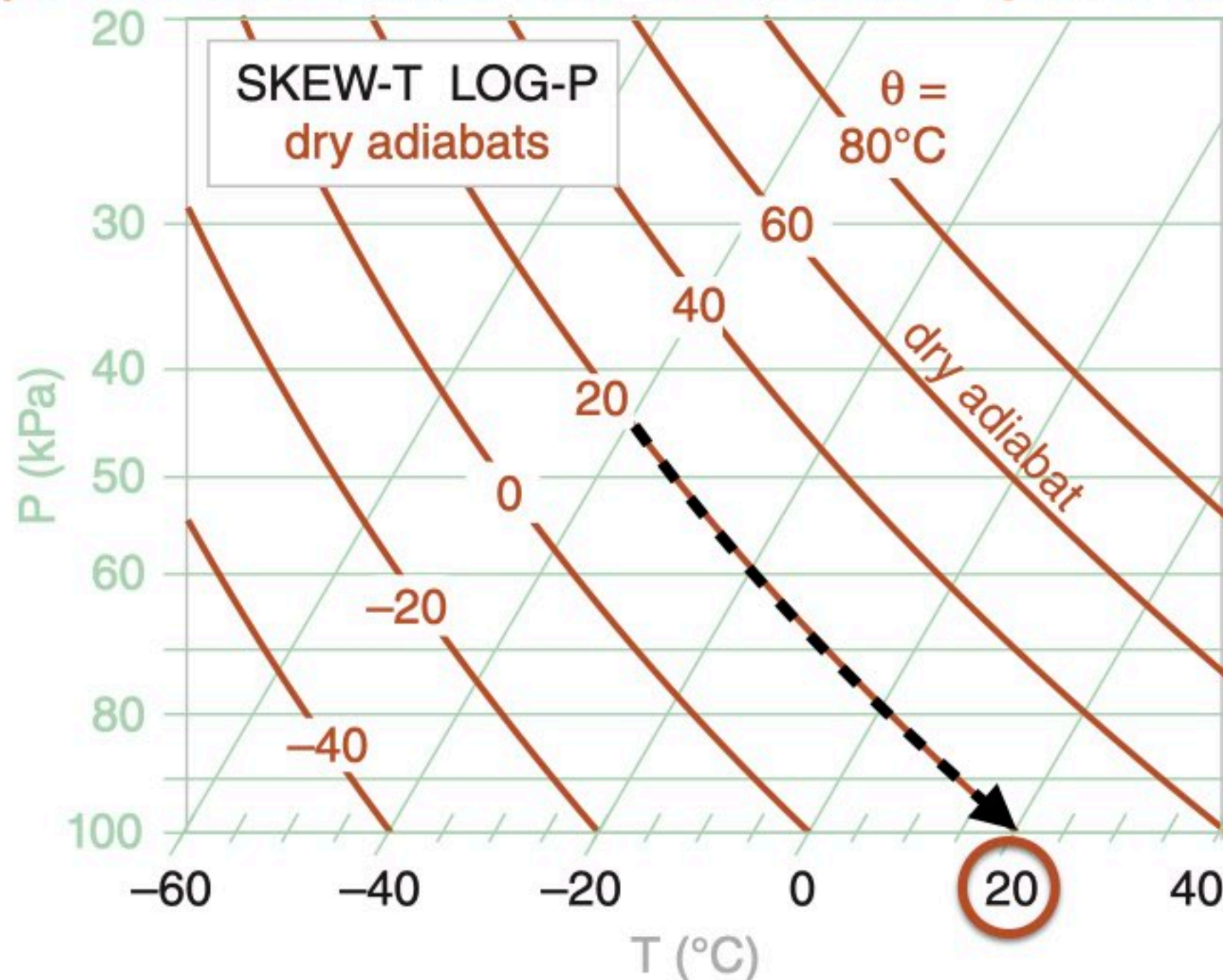


$$\frac{\Delta T}{\Delta z} \approx -9.8 \text{ } ^\circ \text{C/km}$$

Quan una bombolla **d'aire NO saturat ascendeix o descendeix** a l'atmosfera, el **treball necessari per la seva expansió / compressió** es fa a càrrec de **disminuir / augmentar la seva energia interna**.

El canvi de temperatura que això produeix segueix el **gradient de temperatura d'un procés ADIABÀTIC SEC**

1) PROCÉS ADIABÀTIC SEC: sense que hi hagi condensació



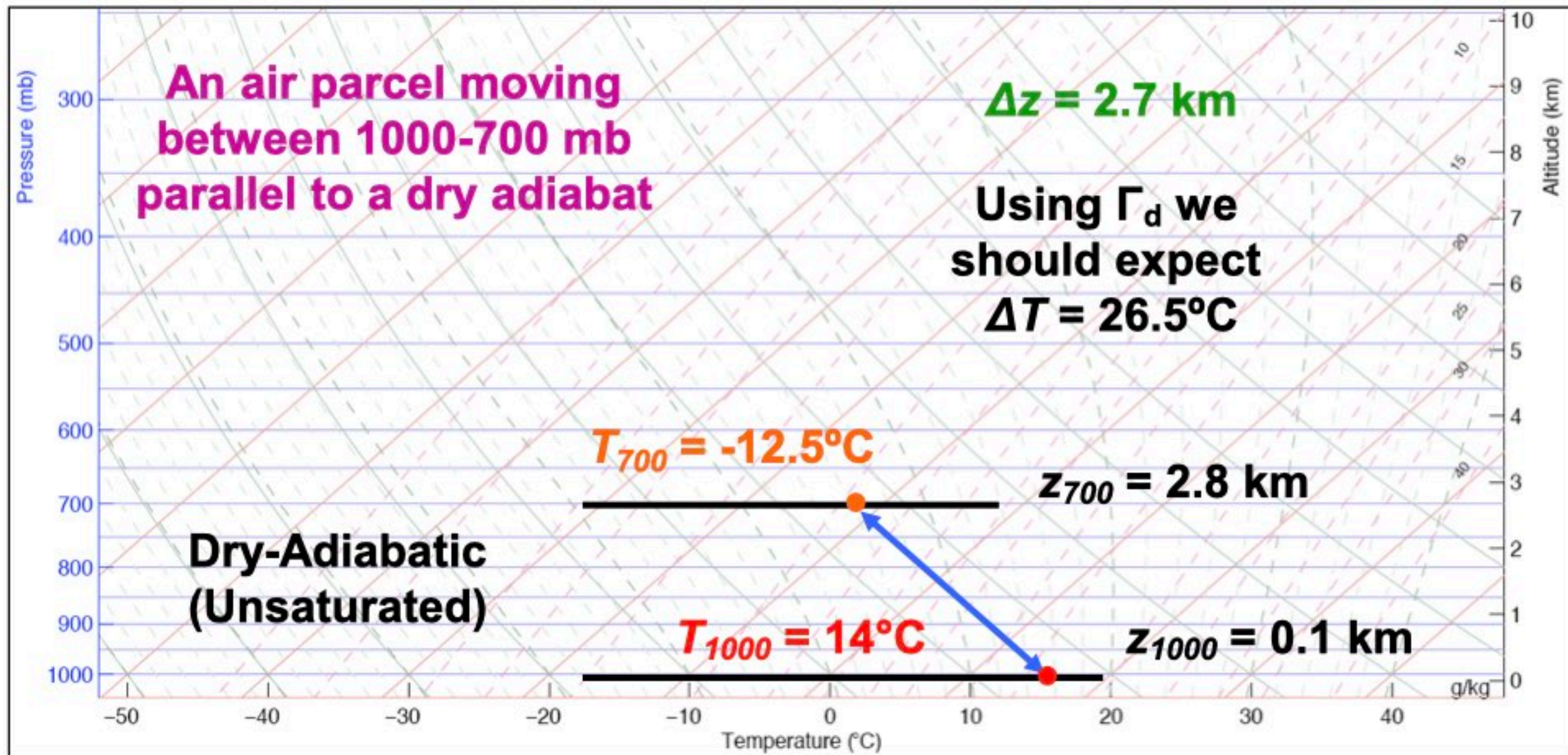
Etiquetes en
**TEMPERATURA
POTENCIAL**

$$\frac{\Delta T}{\Delta z} \approx -9.8 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{km}$$

Quan una bombolla **d'aire NO saturat ascendeix o descendeix** a l'atmosfera, el **treball necessari per la seva expansió / compressió** es fa a càrrec de **disminuir / augmentar la seva energia interna**.

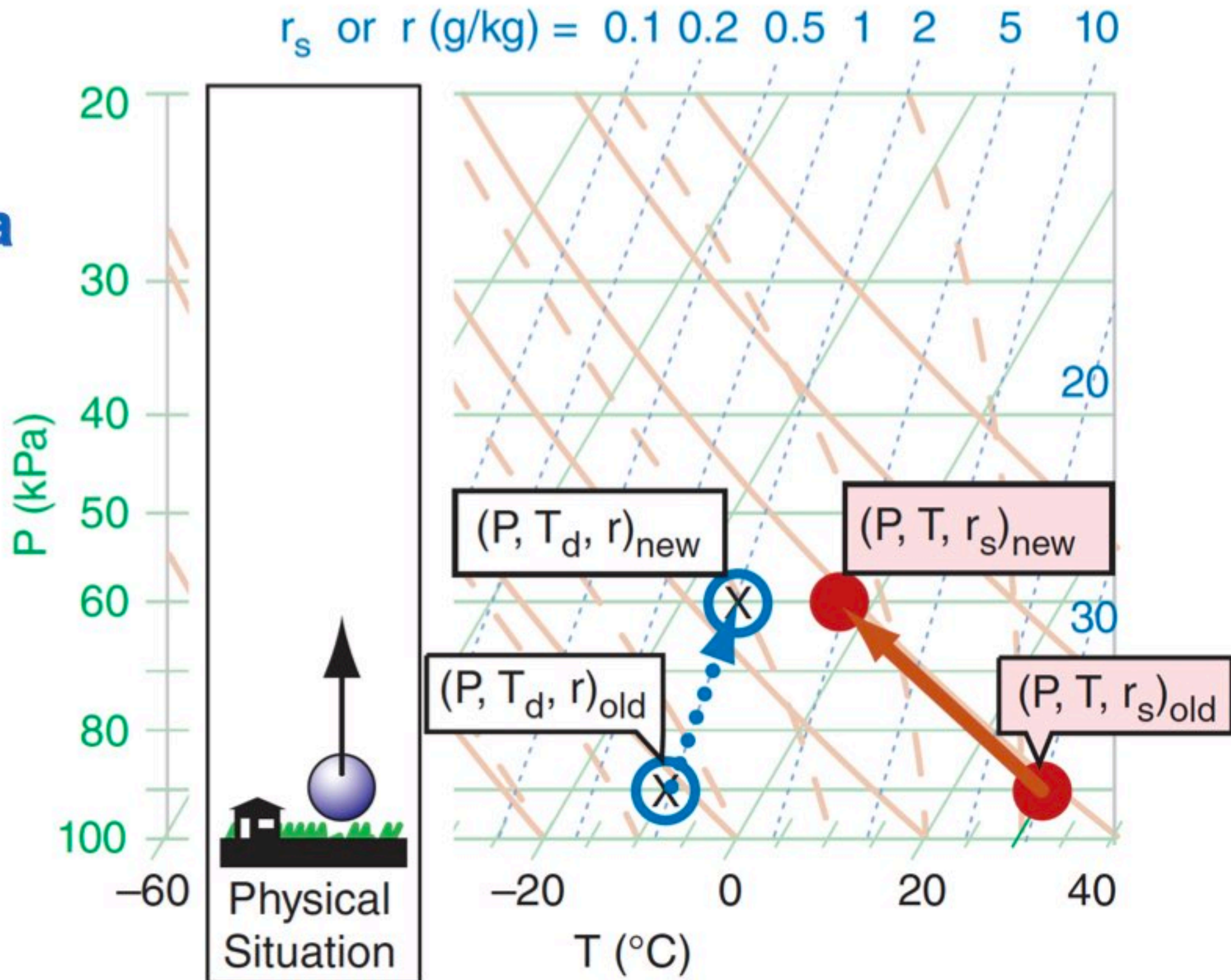
El canvi de temperatura que això produeix segueix el **gradient de temperatura d'un procés ADIABÀTIC SEC**

Ascens d'una bombolla d'aire NO SATURADA (no hi ha flux de calor latent per condensació/evaporació)

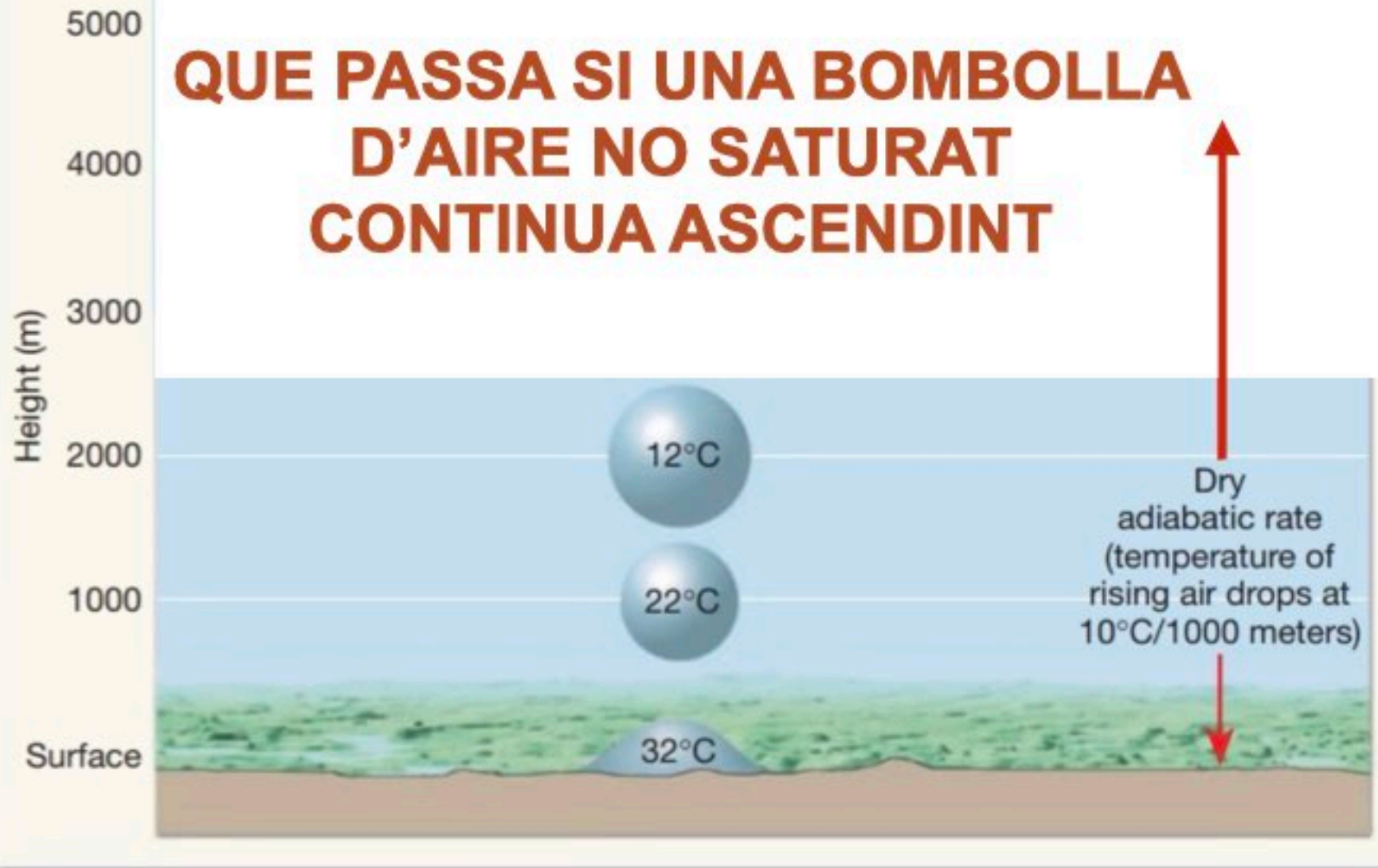


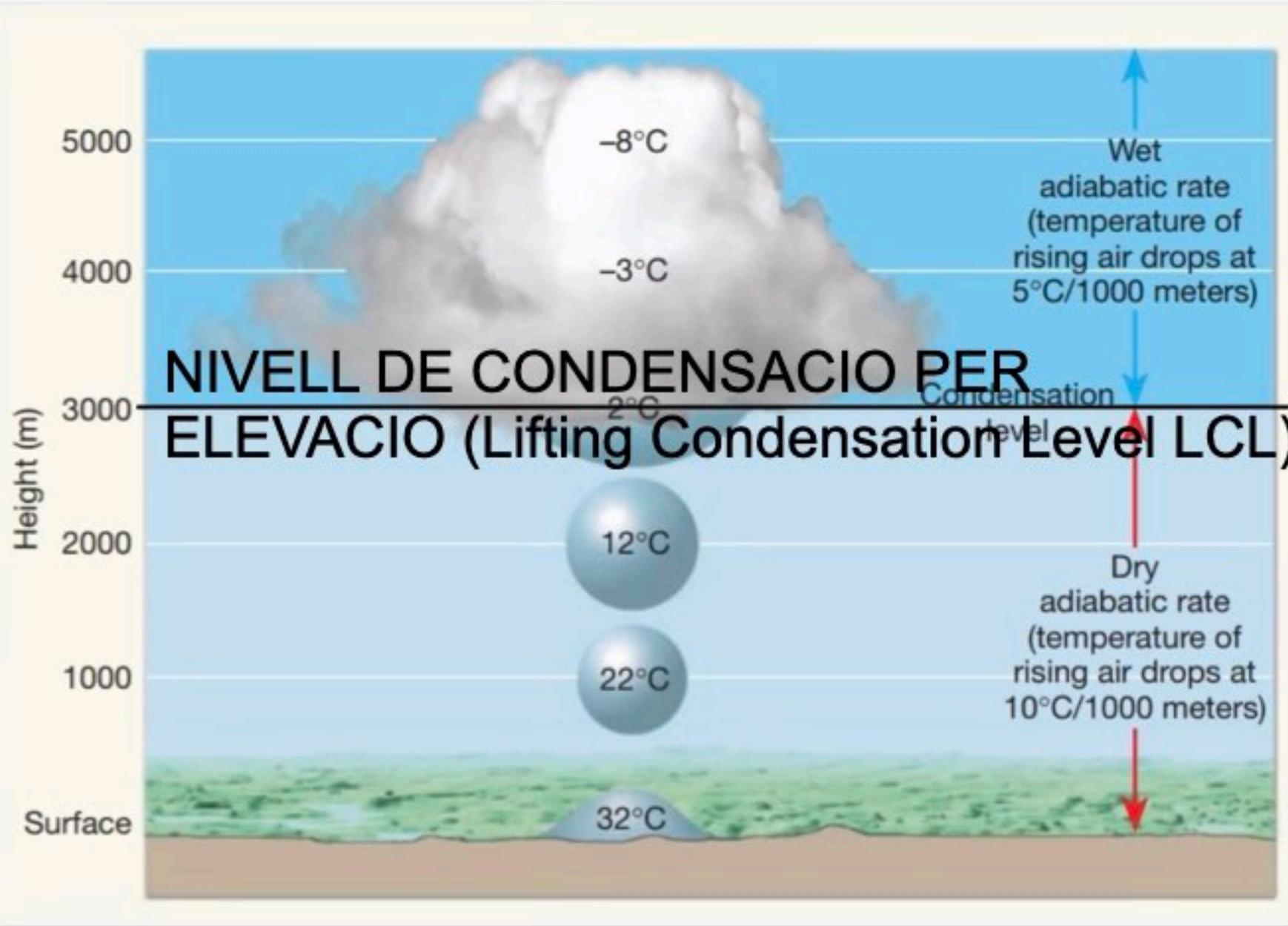
Ascens d'una bombolla d'aire NO SATURADA (no hi ha flux de calor latent per condensació/evaporació)

Com evoluciona la T_d ?



QUE PASSA SI UNA BOMBOLLA D'AIRE NO SATURAT CONTINUA ASCENDINT

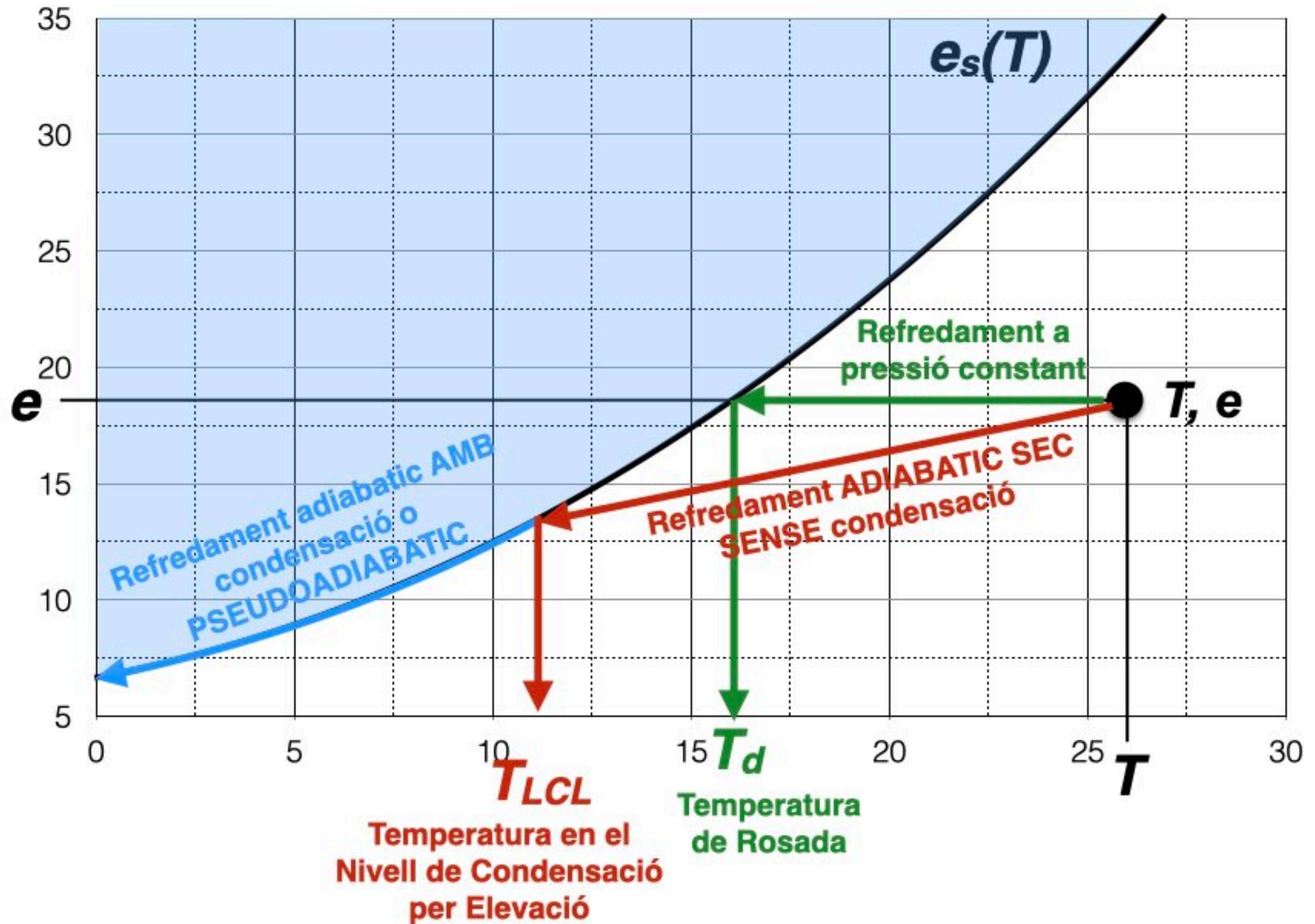




LCL

$$\frac{\Delta T}{\Delta z} \approx -9.8^{\circ} \text{C/km}$$

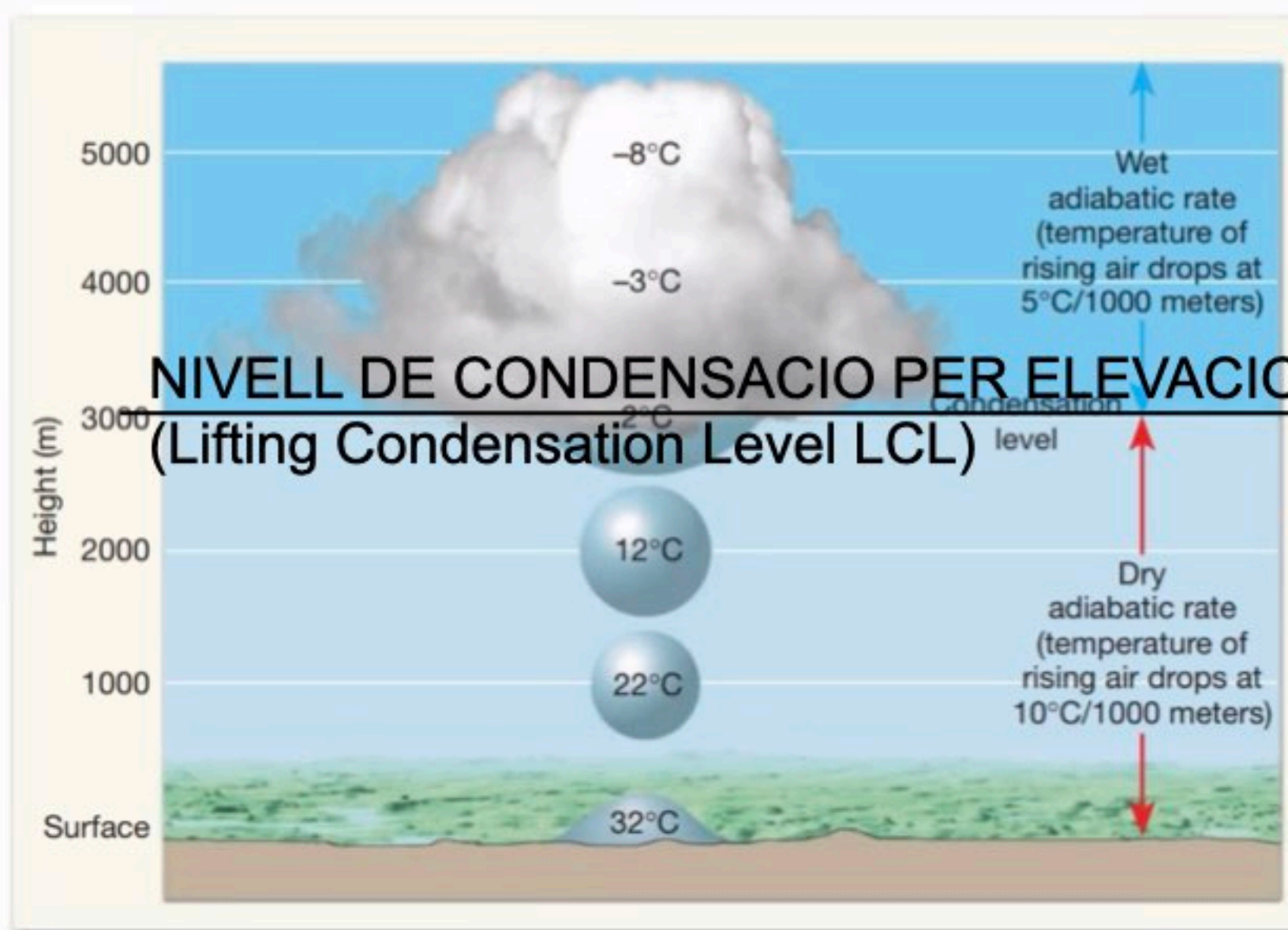
Diversos tipus de refredament



Com representem el refredament adiabatic "sec"?

Com representem el refredament adiabatic "humit"? l'aire es manté saturat?

2) PROCÉS ADIABÀTIC SATURAT: AMB condensació / evaporació



$$\frac{\Delta T}{\Delta z} = -\frac{|g|}{C_p} \cdot \frac{\left(1 + \frac{r_s \cdot L_v}{\mathcal{R}_d \cdot T}\right)}{\left(1 + \frac{L_v^2 \cdot r_s \cdot \epsilon}{C_p \cdot \mathcal{R}_d \cdot T^2}\right)}$$

LCL

$$\frac{\Delta T}{\Delta z} \approx -9.8^\circ \text{C/km}$$

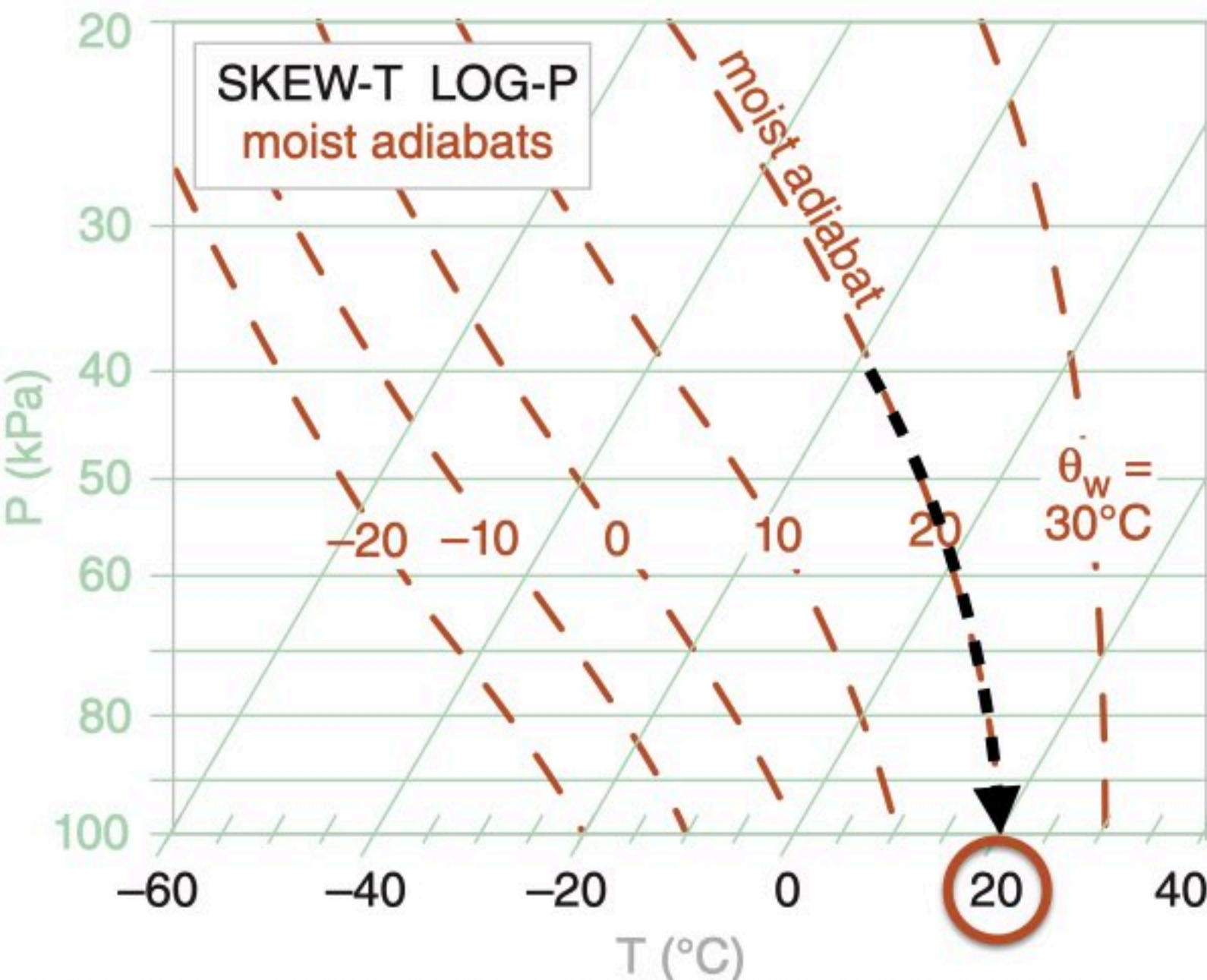
Quan una **bombolla d'aire saturat** ascendeix o descendeix a l'atmosfera, el treball necessari per la seva expansió / compressió es va a càrrec de **disminuir / augmentar la seva energia interna i de condensar / evaporar una part de l'aigua que conté**.

El canvi de temperatura que això produeix segueix el gradient de temperatura d'un **procés adiabàtic humit, o pseudoadiabàtic**.

$$\frac{\Delta T}{\Delta z} > -9.8^\circ \text{C/km}$$

$\approx \text{entre } -4 \text{ i } -6^\circ \text{C/km}$

2) PROCÉS ADIABÀTIC SATURAT: AMB condensació / evaporació



$$\frac{\Delta T}{\Delta z} = -\frac{|g|}{C_p} \cdot \frac{\left(1 + \frac{r_s \cdot L_v}{\mathcal{R}_d \cdot T}\right)}{\left(1 + \frac{L_v^2 \cdot r_s \cdot \epsilon}{C_p \cdot \mathcal{R}_d \cdot T^2}\right)}$$

**Etiquetes en
TEMPERATURA
POTENCIAL**

Quan una **bombolla d'aire saturat** ascendeix o descendeix a l'atmosfera, el treball necessari per la seva expansió / compressió es va a càrrec de **disminuir / augmentar la seva energia interna i de condensar / evaporar una part de l'aigua que conté**.

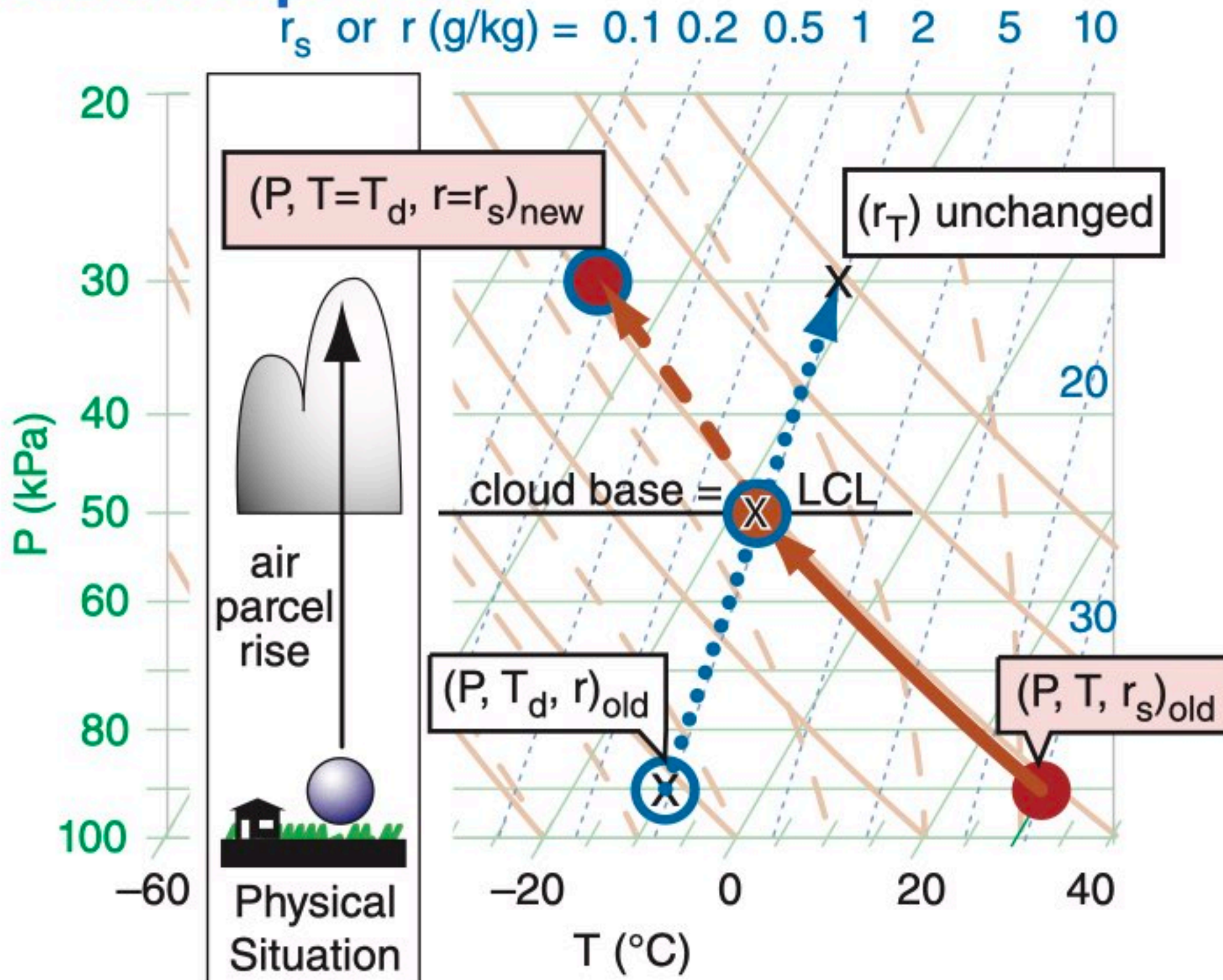
El canvi de temperatura que això produeix segueix el gradient de temperatura d'un **procés adiabàtic saturat, o pseudoadiabàtic**.

$$\frac{\Delta T}{\Delta z} > -9.8^\circ \text{C/km}$$

$\approx \text{entre } -4 \text{ i } -6^\circ \text{C/km}$

Ascens d'una bombolla d'aire NO SATURADA que arriba al seu nivell de condensació per elevació (LCL)

Nivell a partir del qual **SI** hi ha flux de calor latent per condensació/evaporació



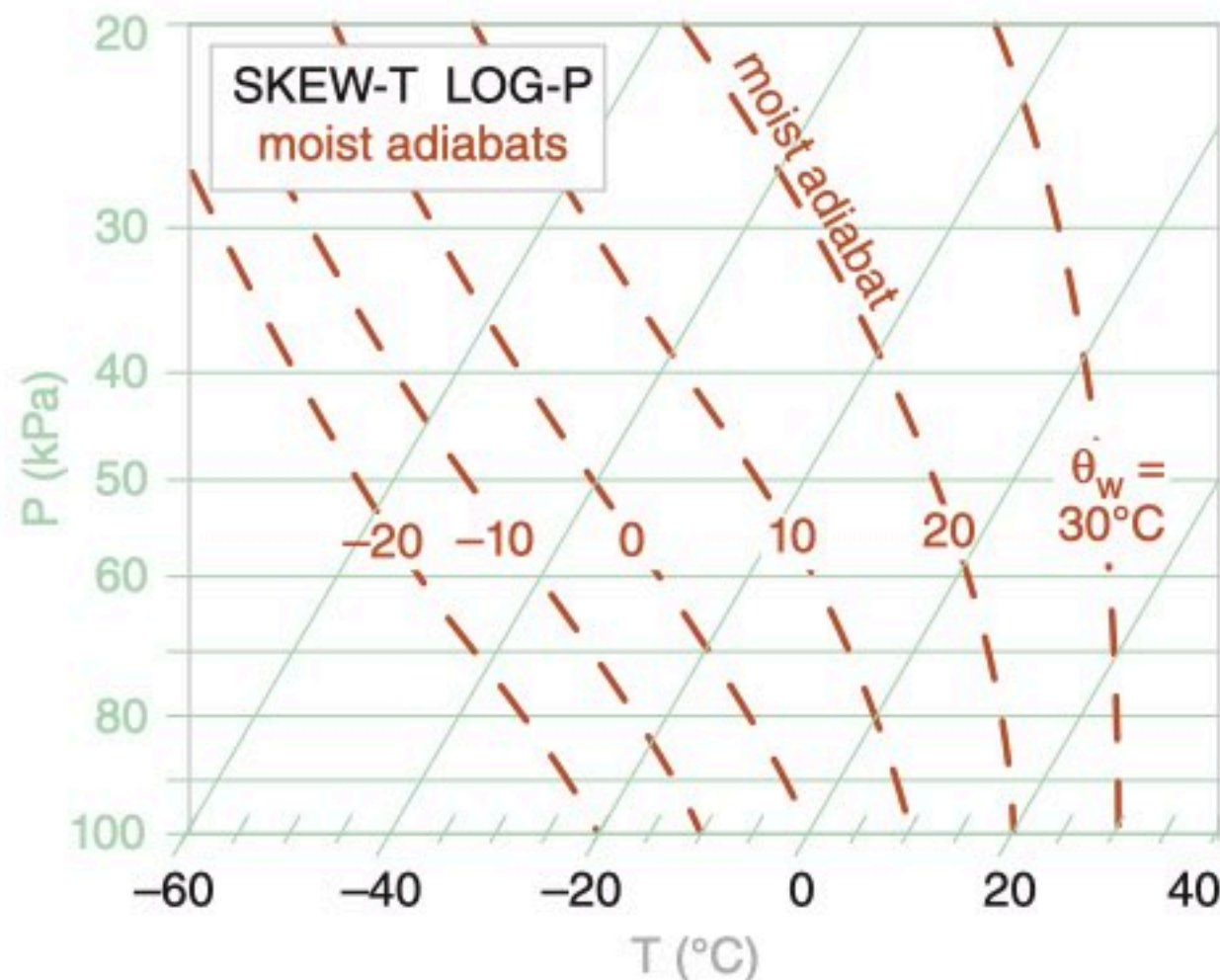
Ascens d'una bombolla d'aire NO SATURADA que arriba al seu nivell de condensació per elevació (LCL)

Nivell a partir del qual SI hi ha flux de calor latent per condensació/evaporació



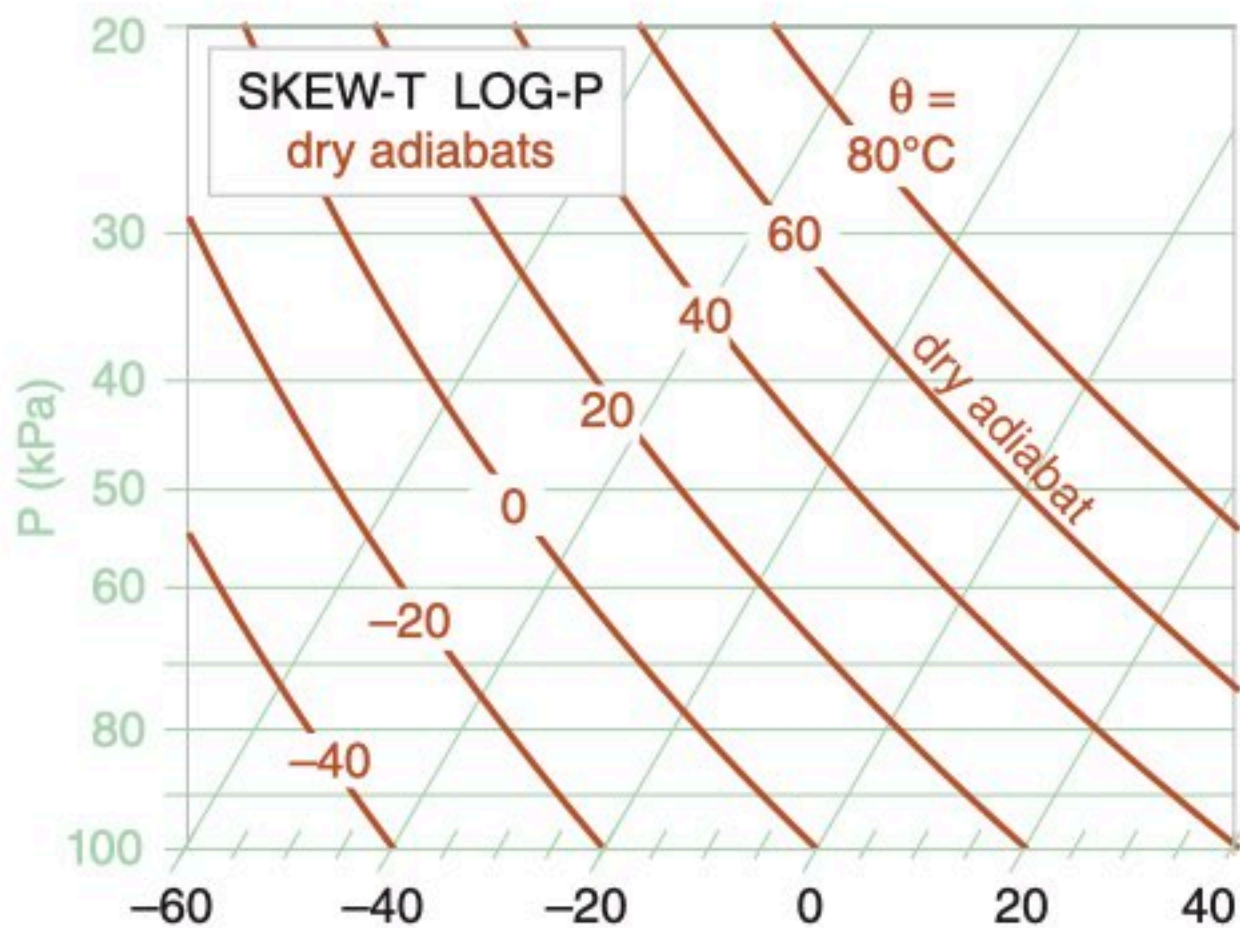
Ascens d'una bombolla d'aire NO SATURADA que arriba al seu nivell de condensació per elevació (LCL)

Nivell a partir del qual SI hi ha flux de calor latent per condensació/evaporació



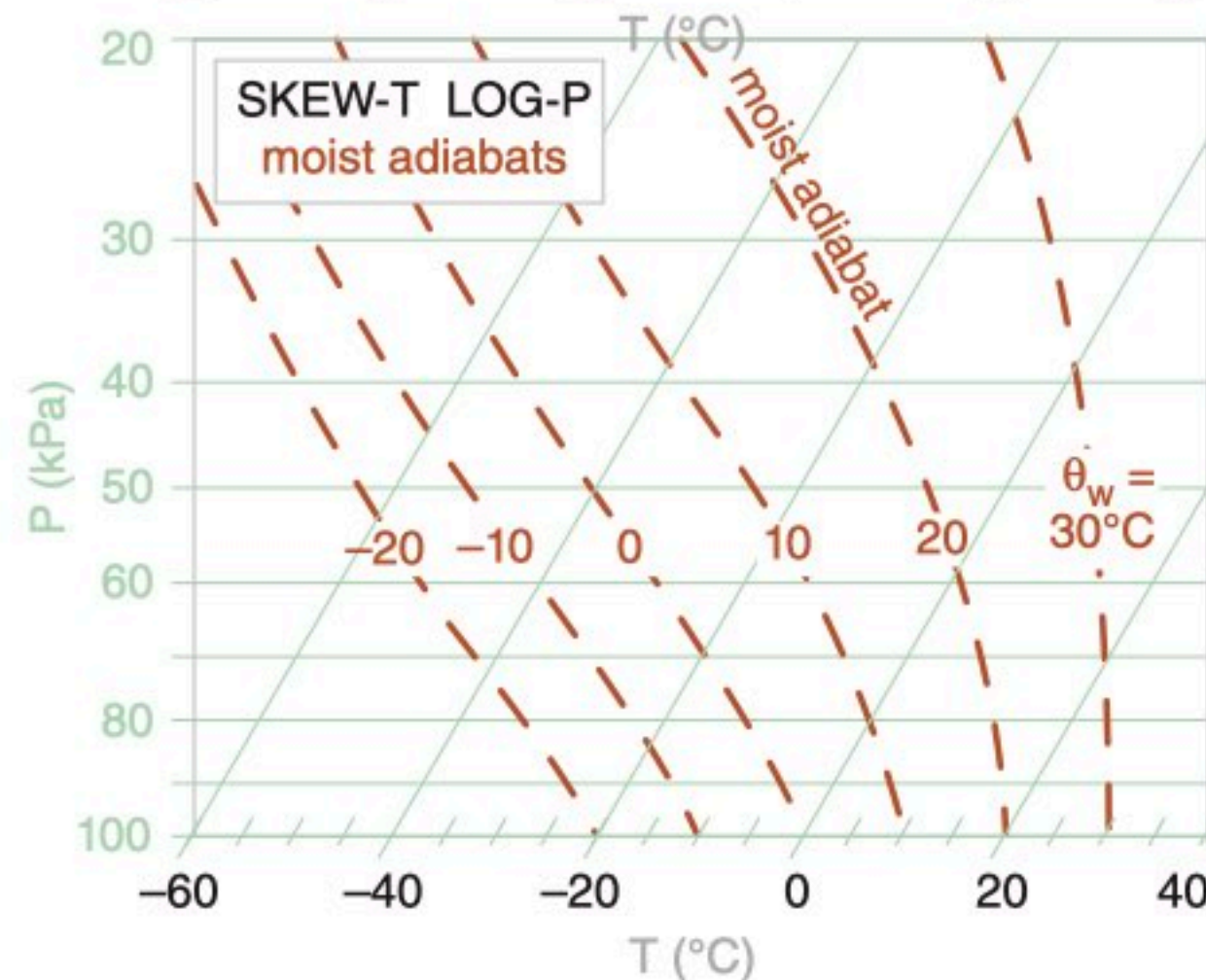
Corbes adiabàtiques saturades, humides o Pseudoadiabàtiques

(trajectoria de l'aire que segueix un procés adiabàtic **AMB** CONDENSACIÓ/EVAPORACIÓ)



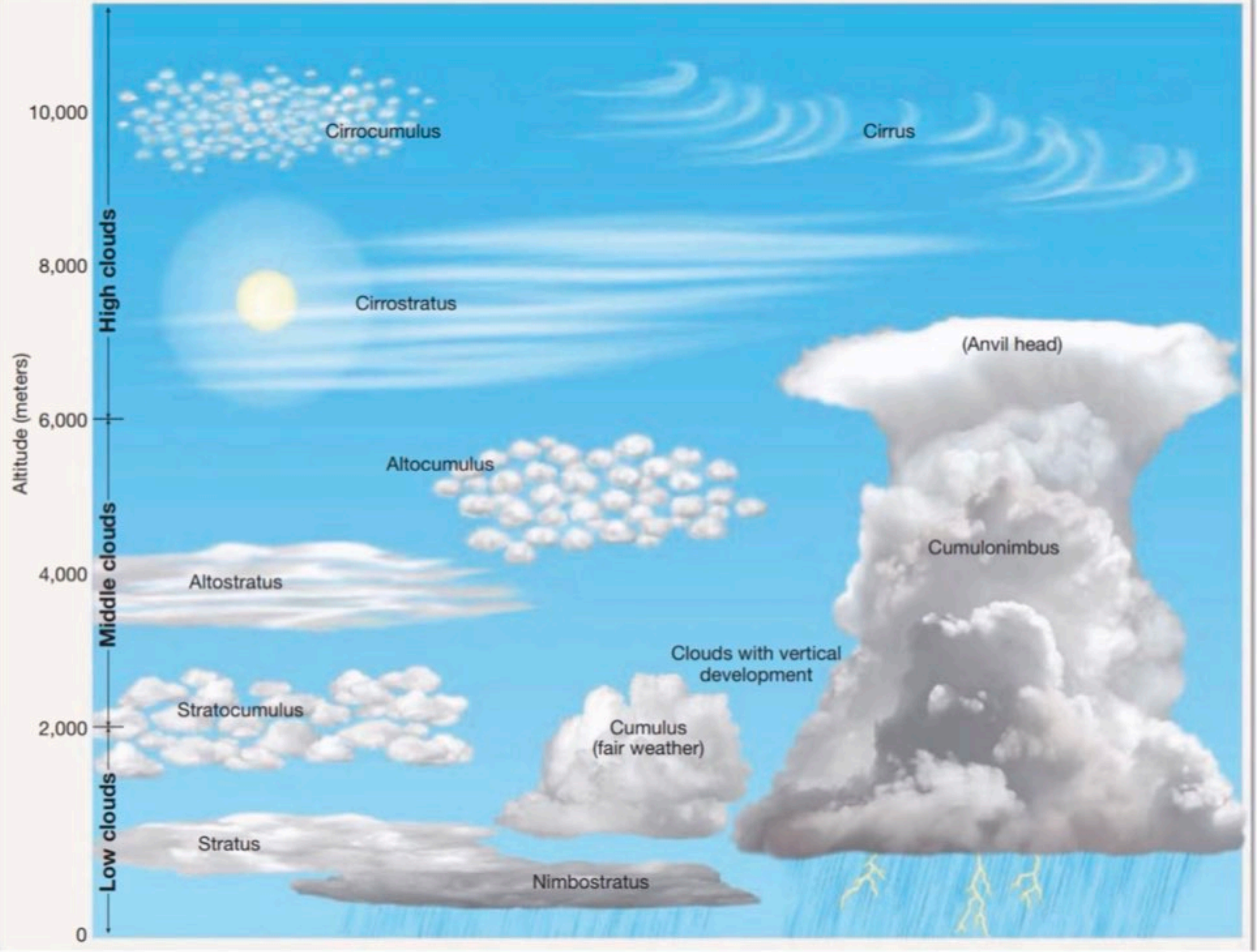
Corbes Adiabàtiques “seques”

(trajectoria de l'aire que segueix un procés adiabàtic **SENSE** CONDENSACIÓ/EVAPORACIÓ)



Corbes adiabàtiques saturades, humides o Pseudoadiabàtiques

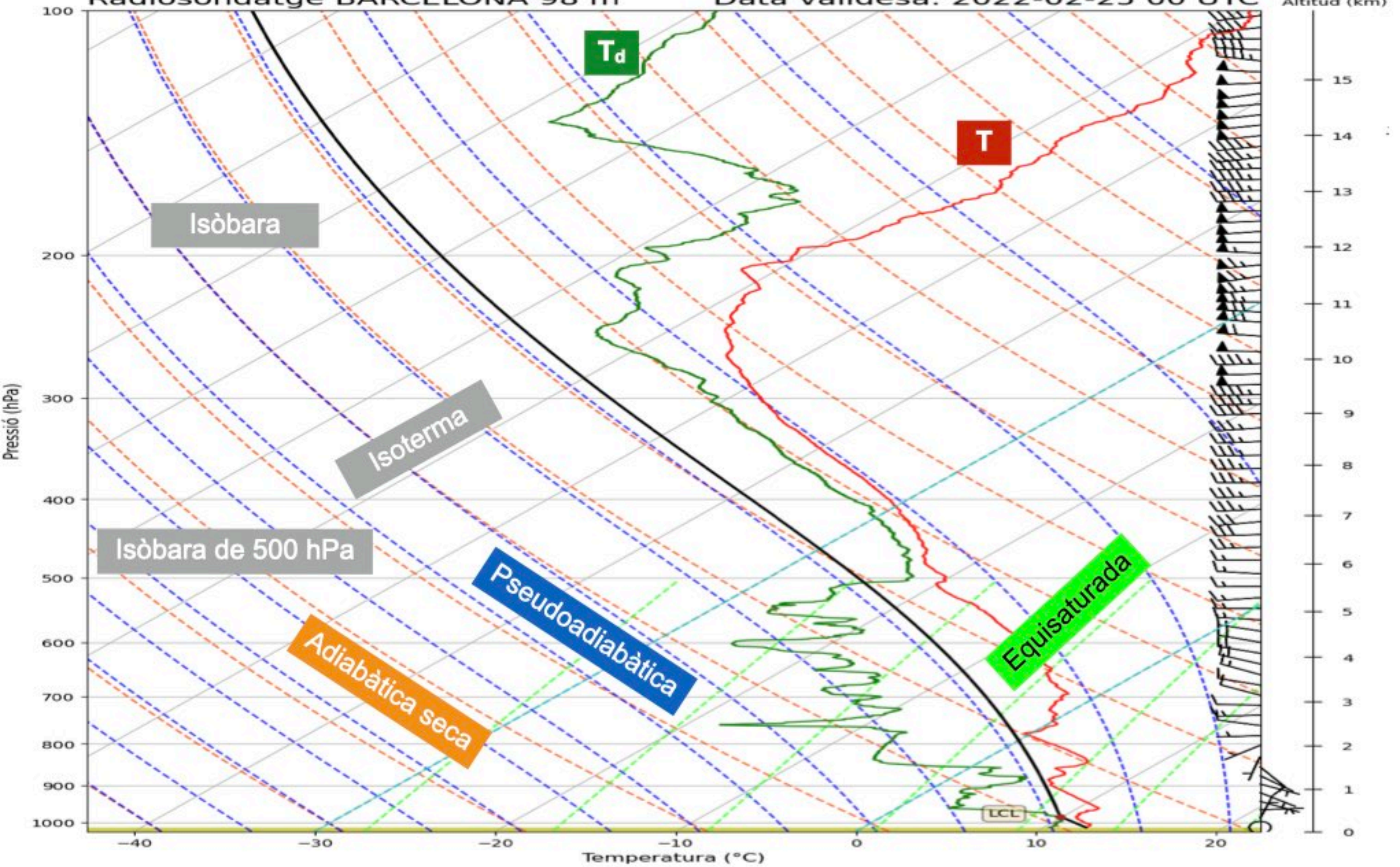
(trajectoria de l'aire que segueix un procés adiabàtic **AMB** CONDENSACIÓ/EVAPORACIÓ)



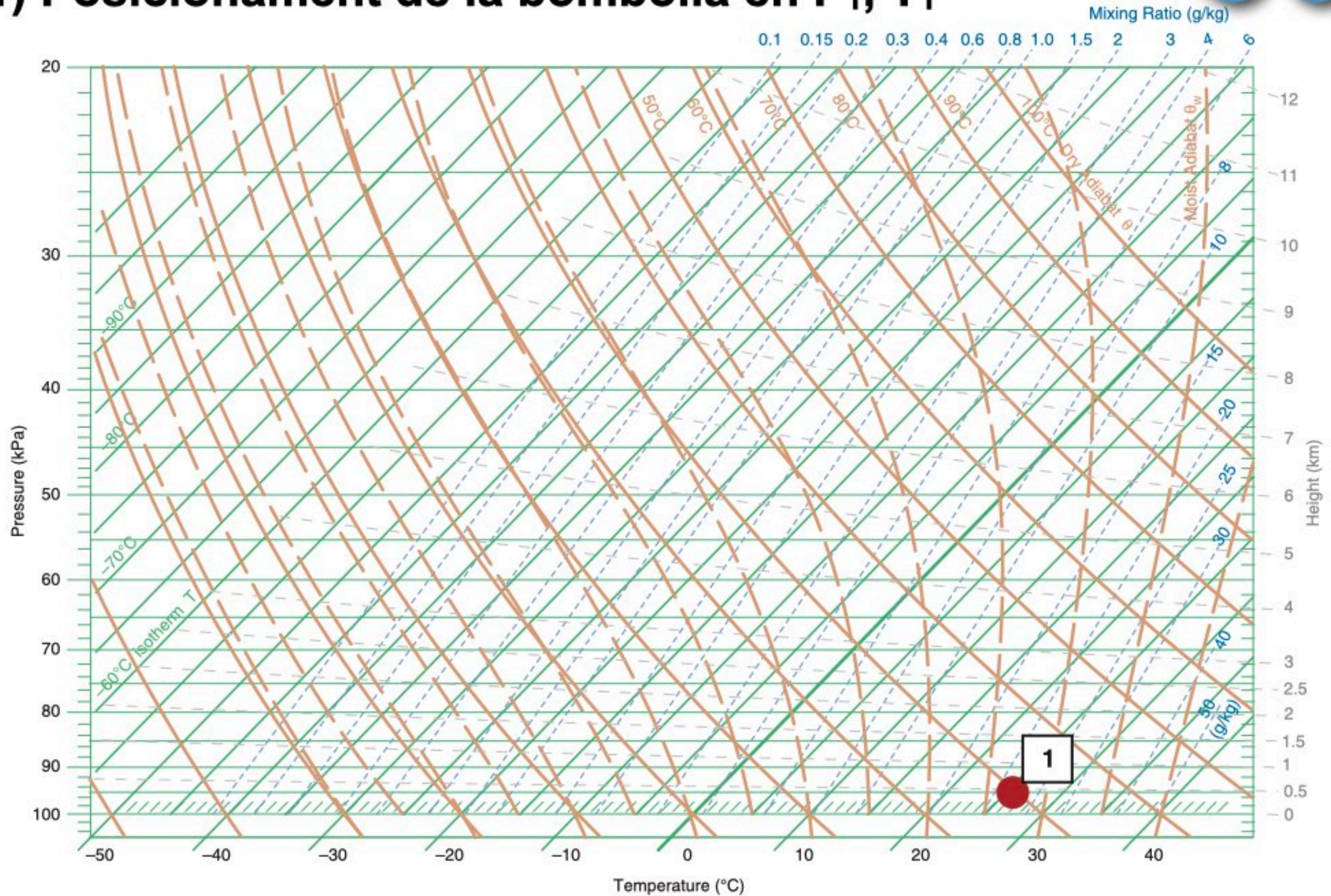
Radiosondatge BARCELONA 98 m

Data validesa: 2022-02-25 00 UTC

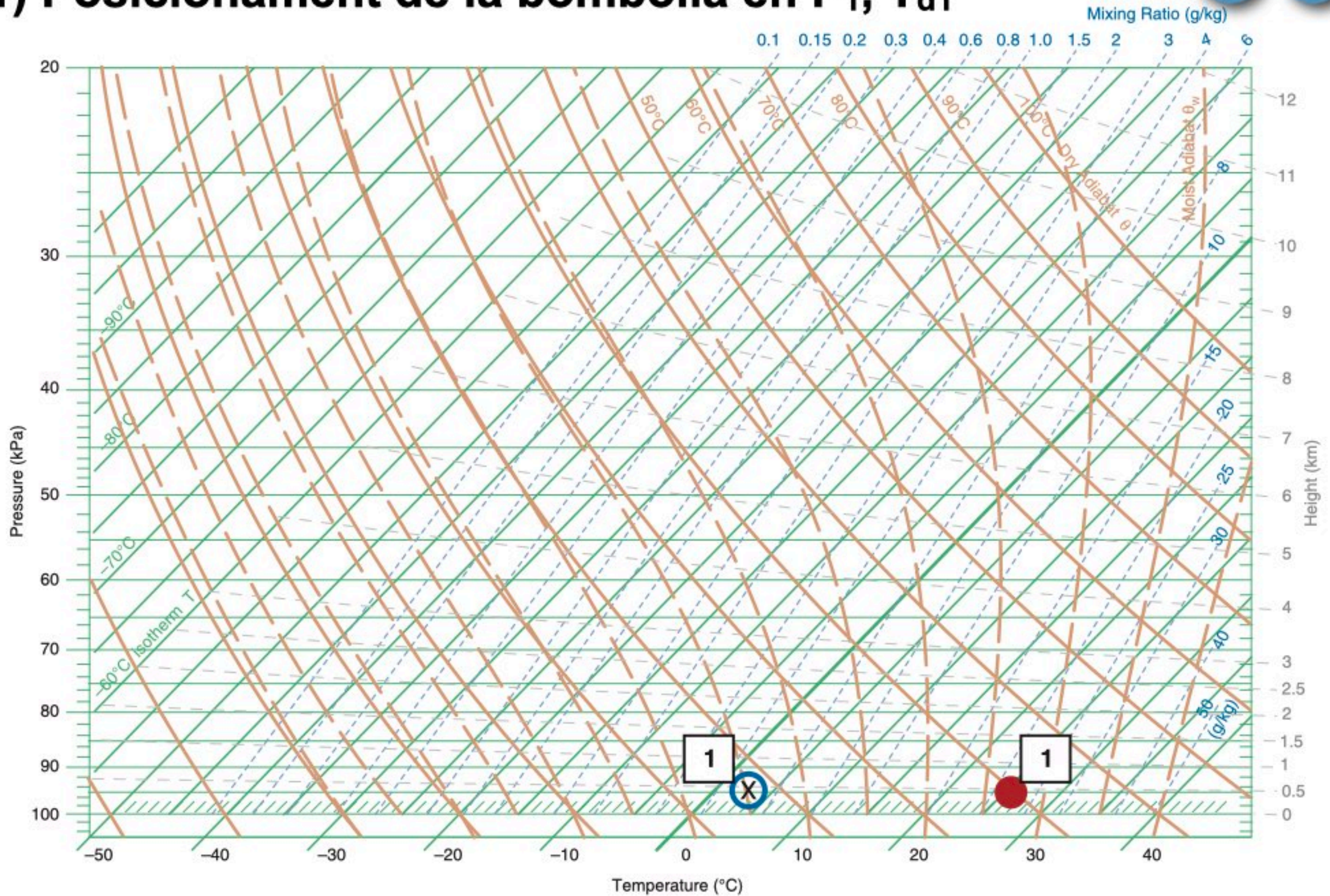
Altitud (km)



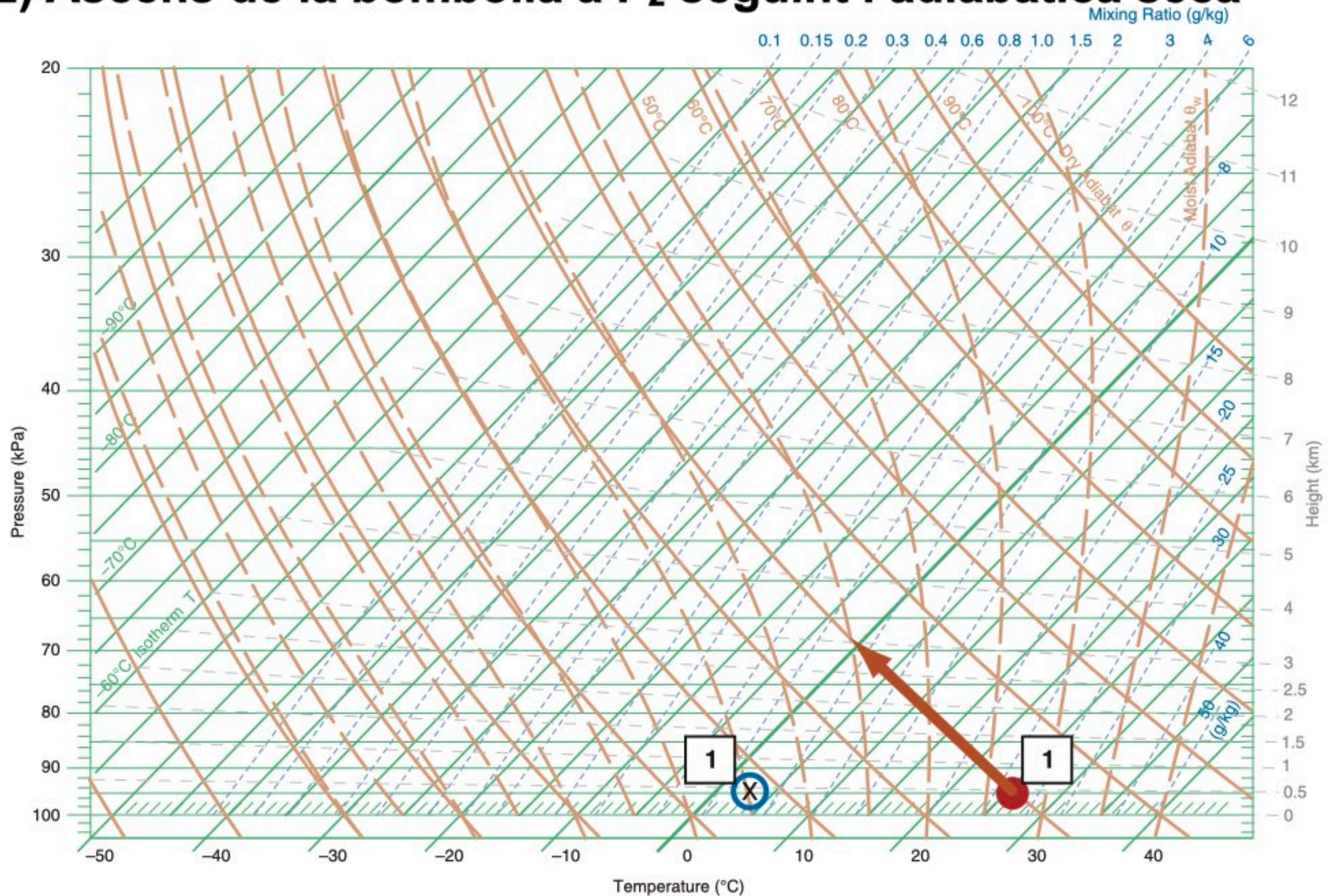
1) Posicionament de la bombolla en P_1, T_1



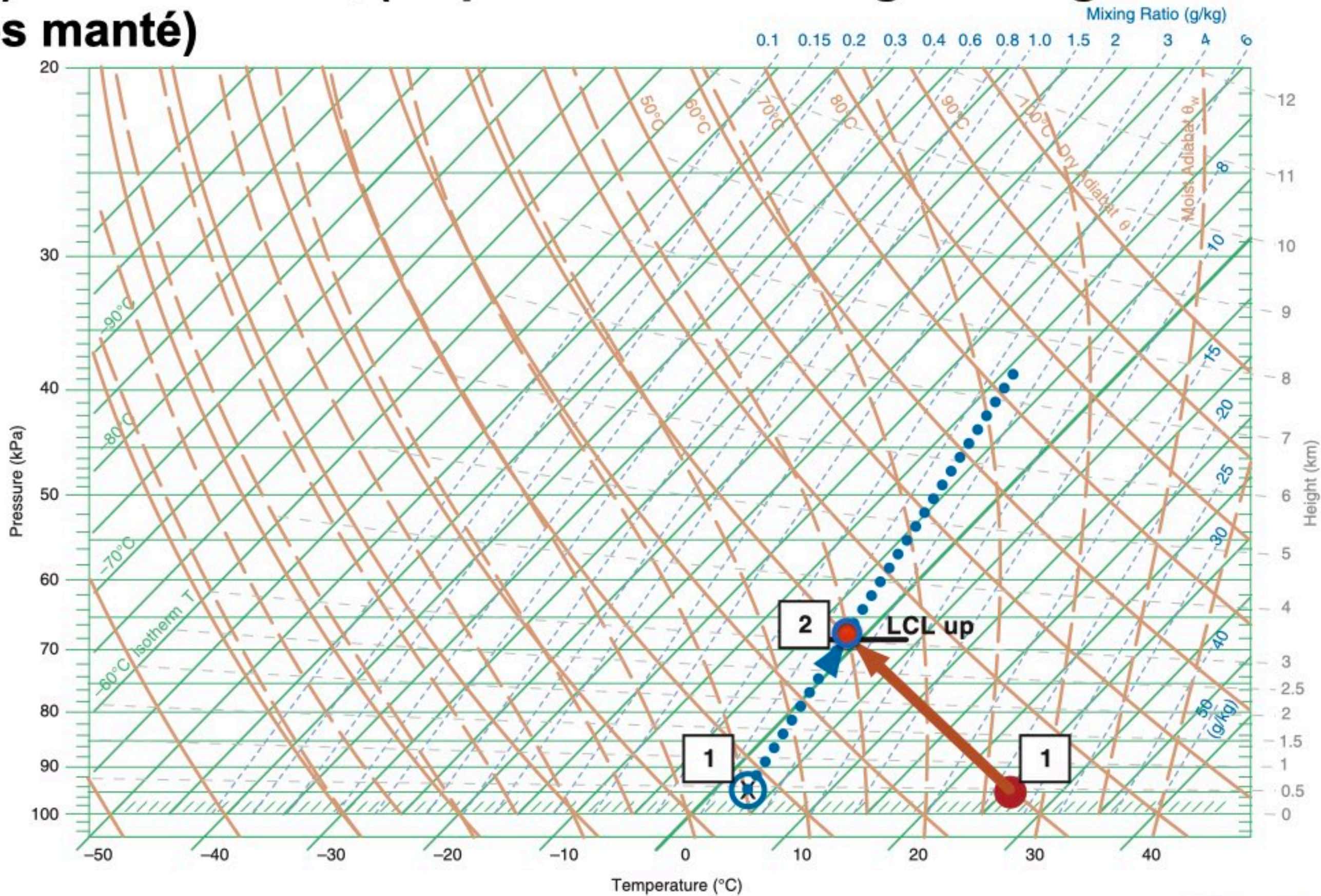
1) Posicionament de la bombolla en P_1 , T_{d1}



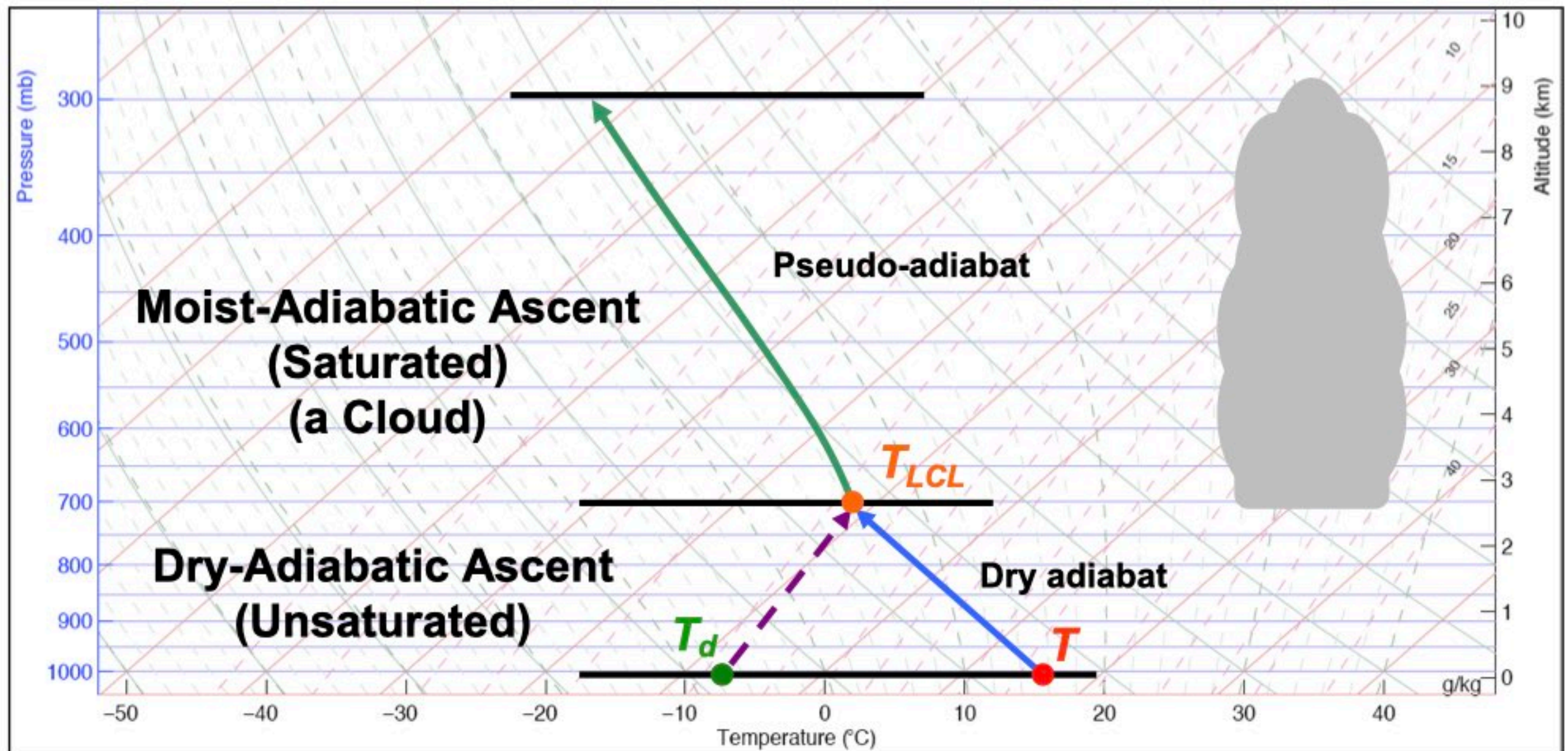
2) Ascens de la bombolla a P_2 seguint l'adiabatica seca



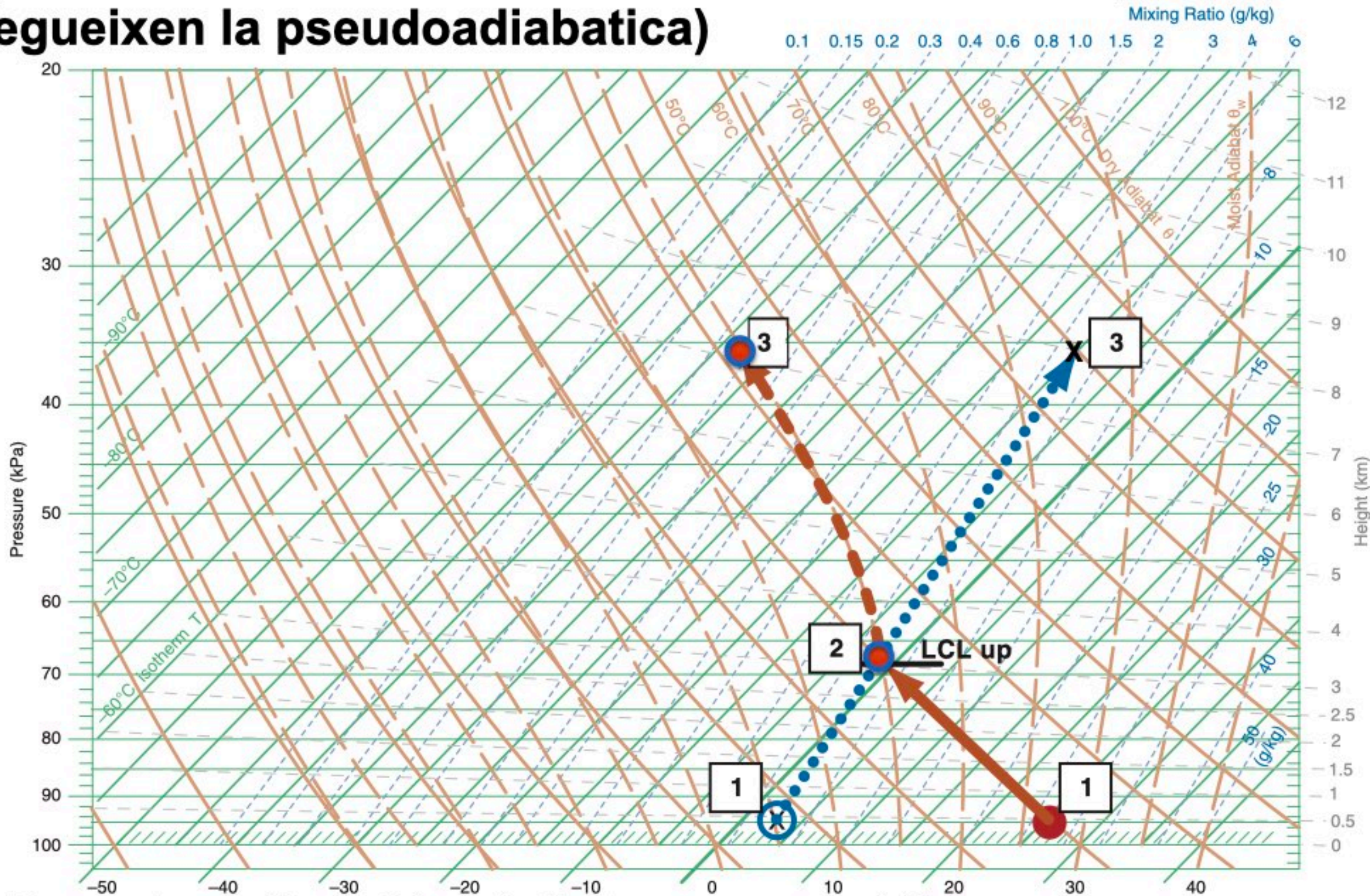
2) Evolució de T_d (la quantitat de contingut en aigua total es manté)



Determinació del Nivell de Condensació per Elevació (o Lifting Condensation level LCL)

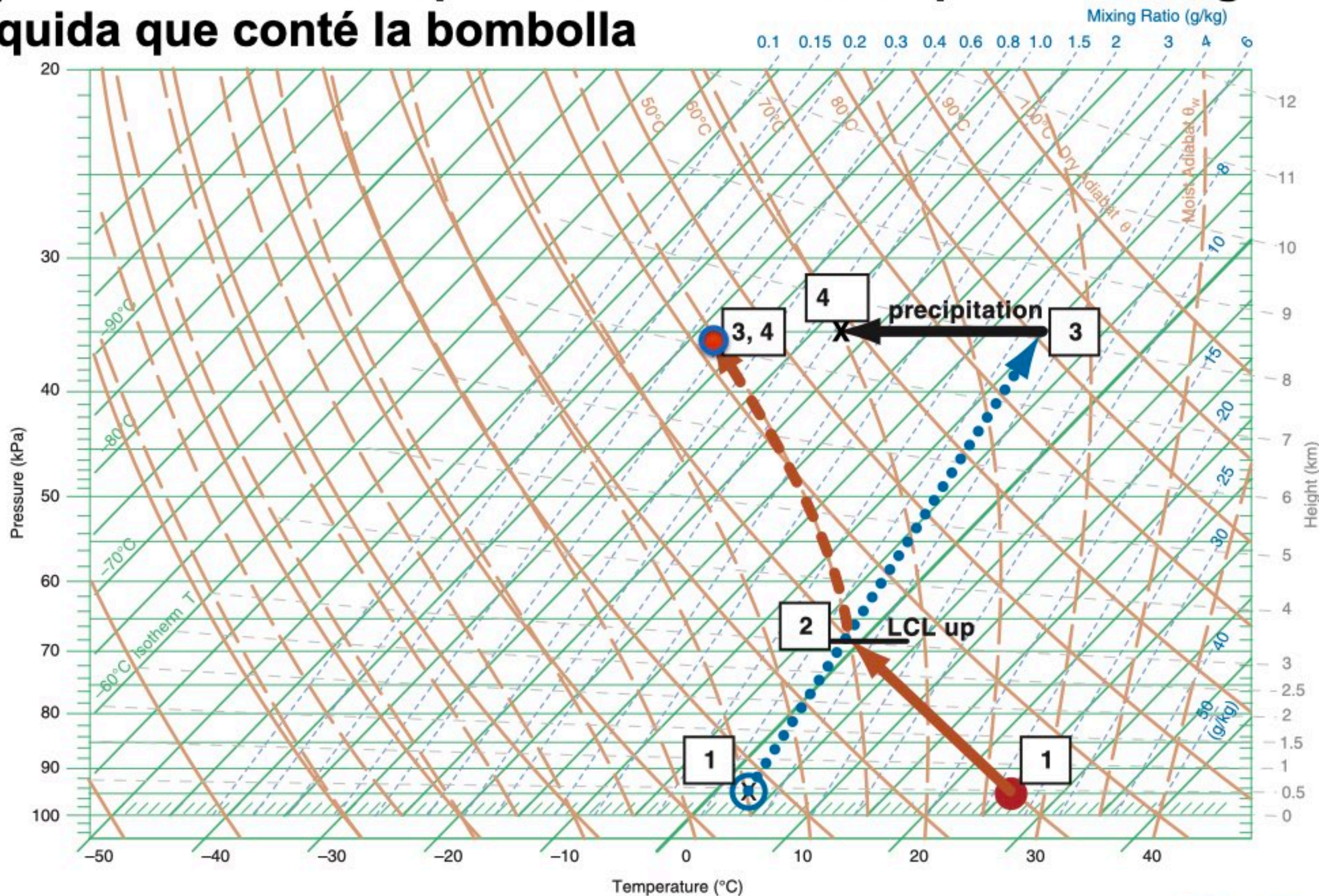


3) Ascens de la bombolla a P_3 amb condensació (T i T_d segueixen la pseudoadiabatica)



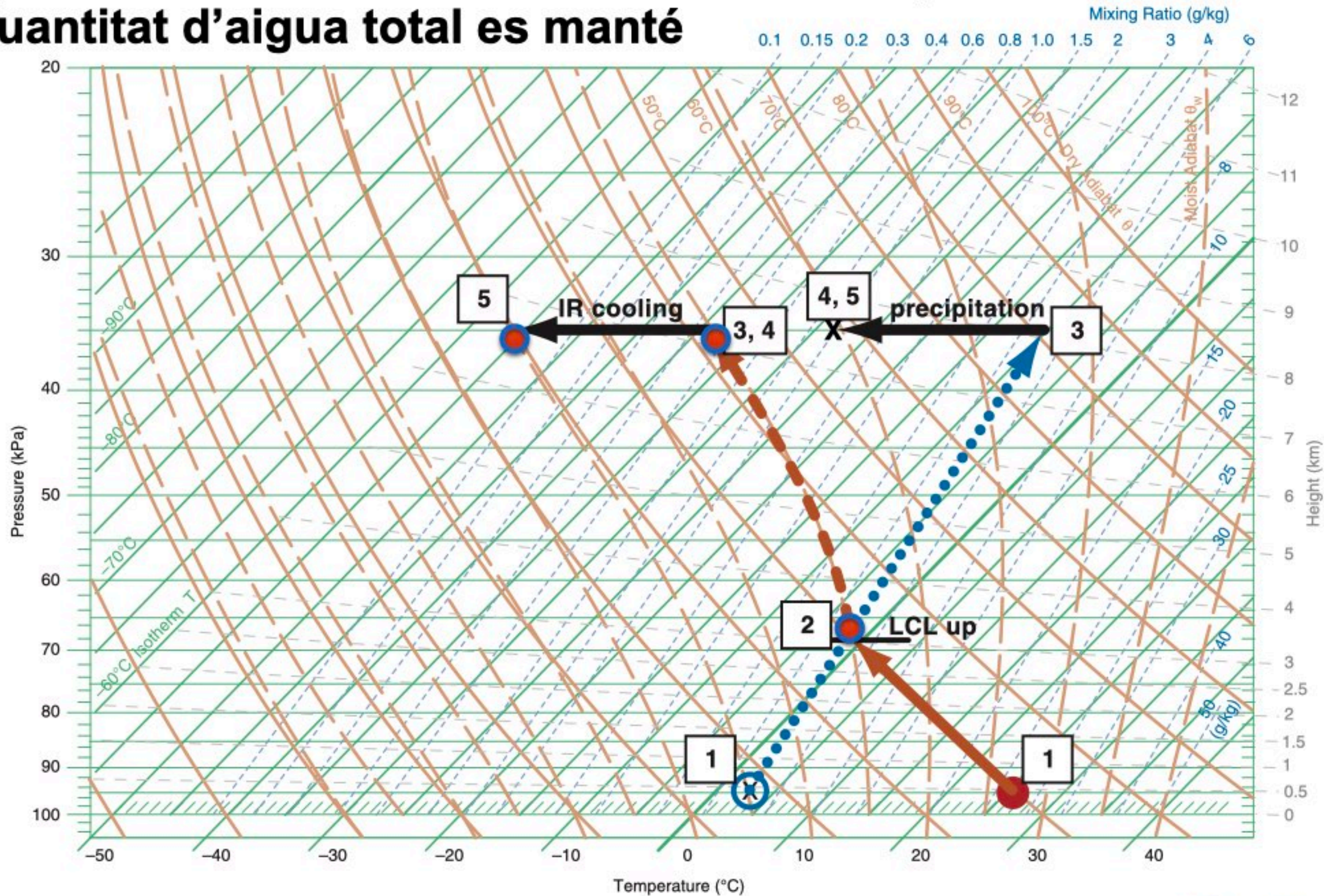
Pero el contingut total d'aigua es manté!
(vapor + aigua líquida)

4) Fenòmen de Precipitació: es redueix la quantitat d'aigua líquida que conté la bombolla

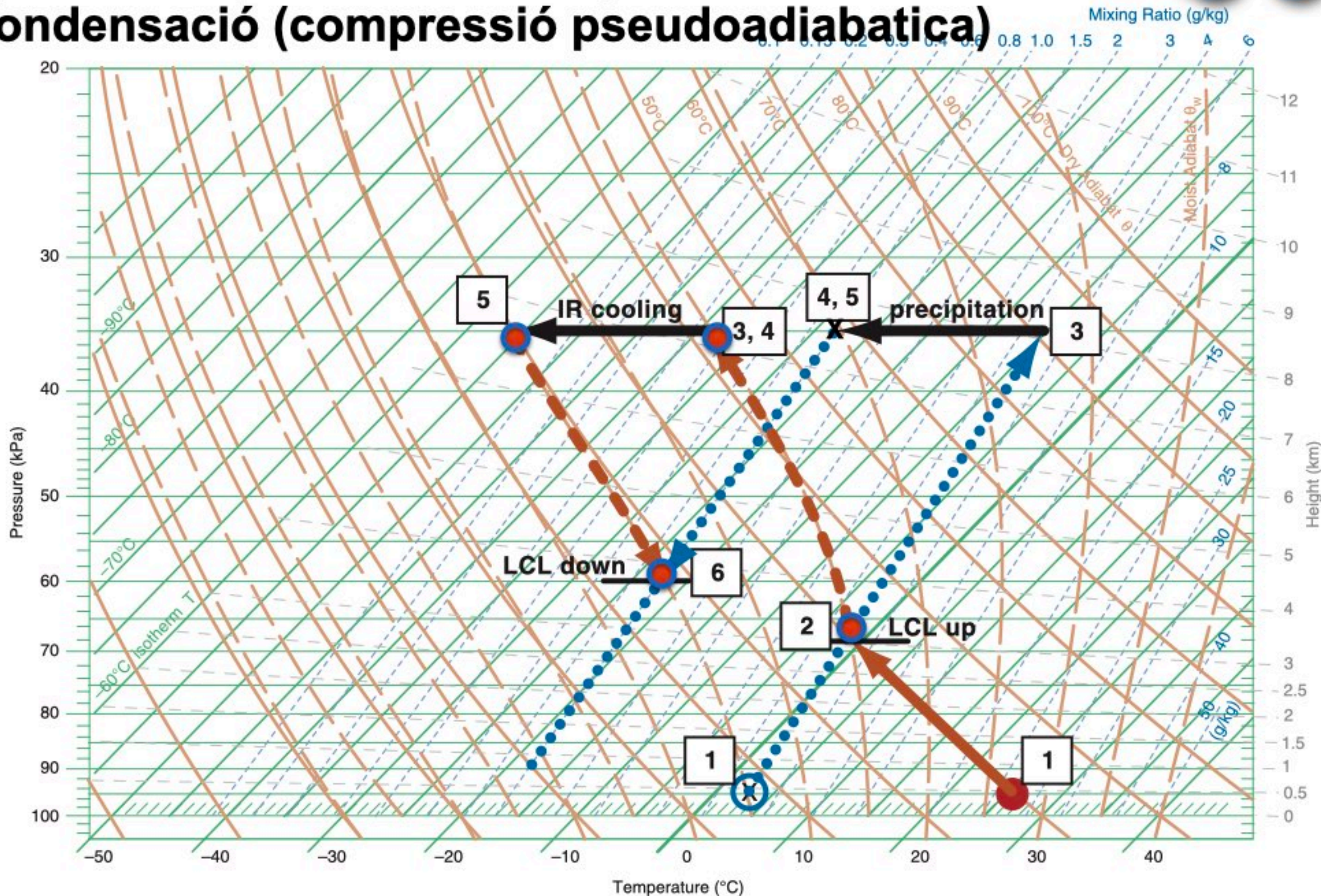


Precipitacio: la bombolla perd aigua (aigua liquida)

5) Refredament radiatiu: es redueix la temperatura, però la quantitat d'aigua total es manté

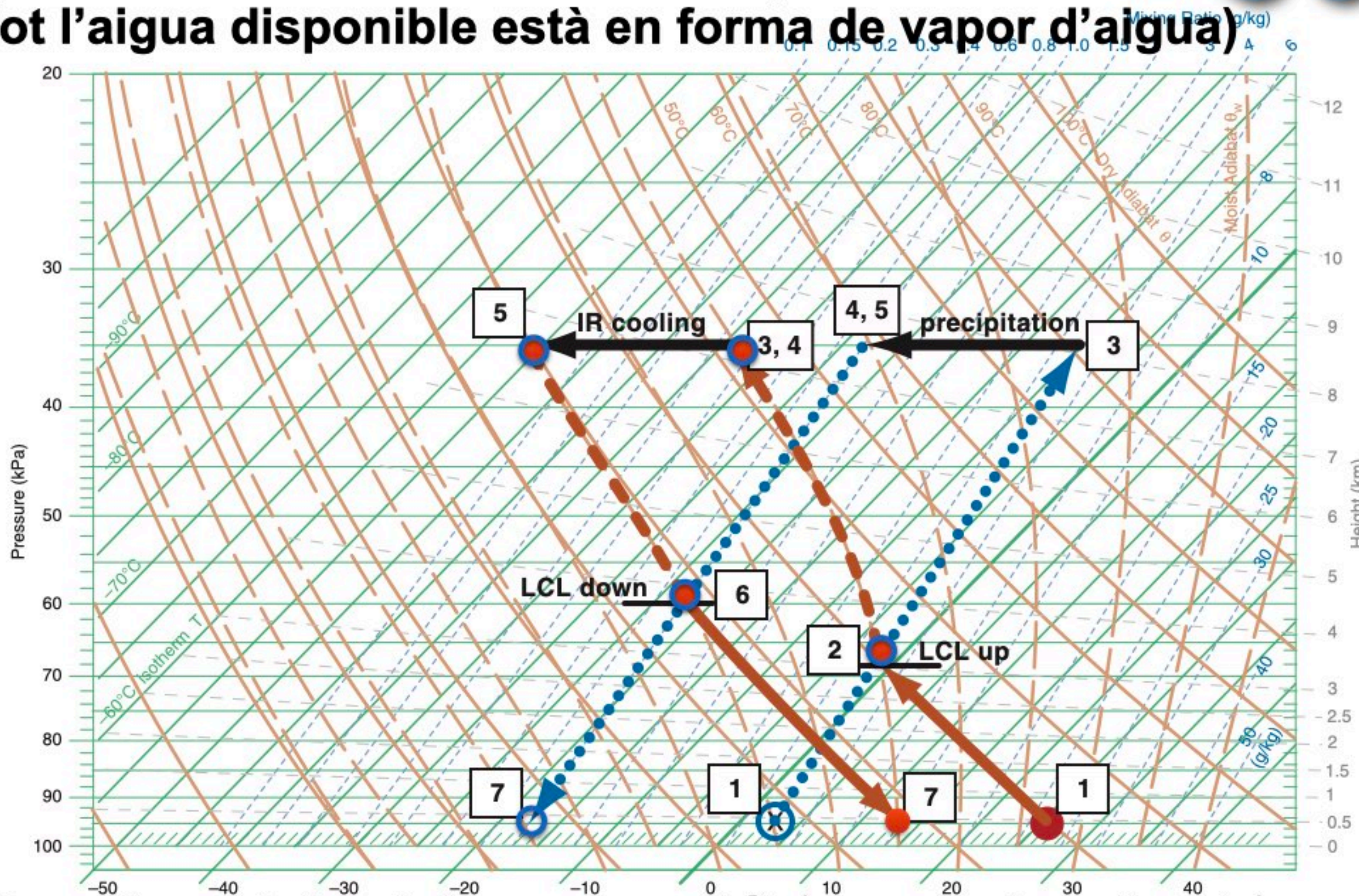


6) Descens per reducció de pressió fins al nivell de condensació (compressió pseudoadiabàtica)



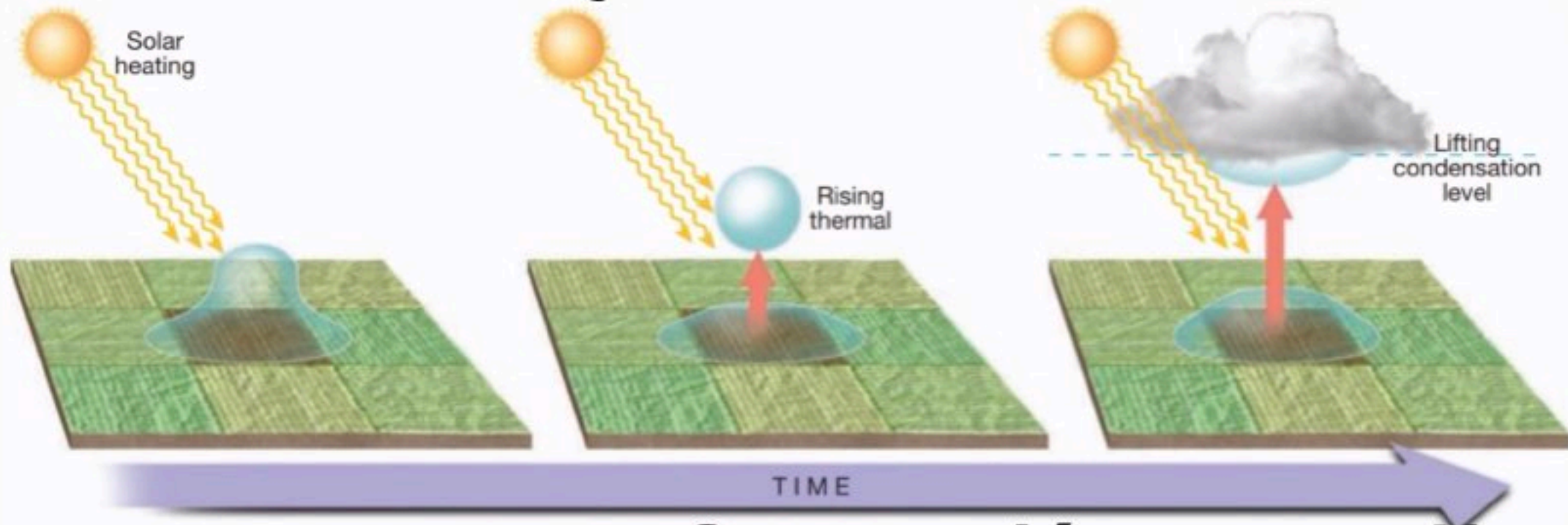
El contingut total d'aigua es manté! (vapor + aigua líquida)

6) Descens adiabatic sec fins a superfície (tot l'aigua disponible està en forma de vapor d'aigua)

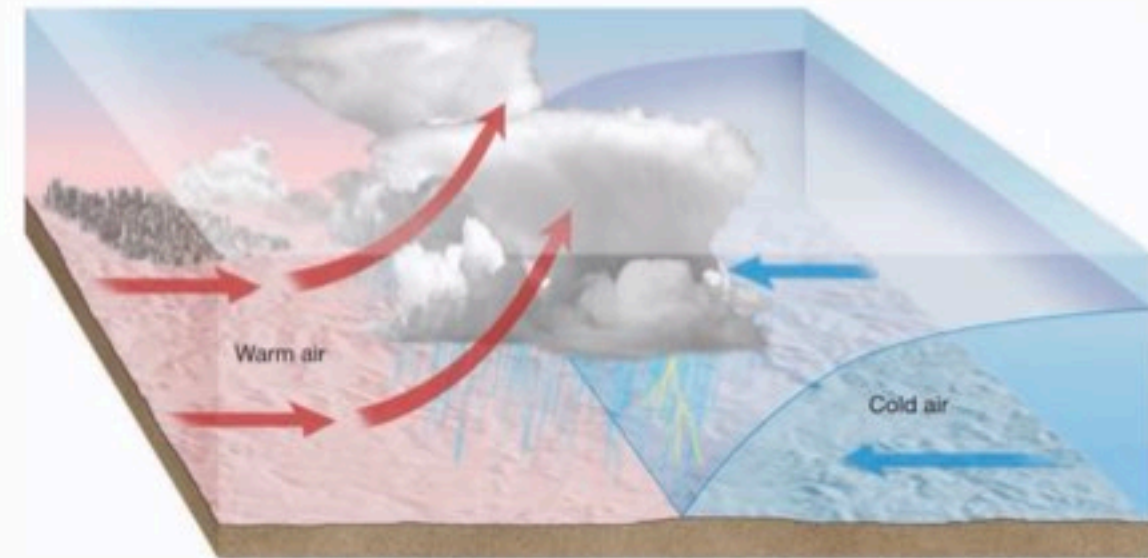
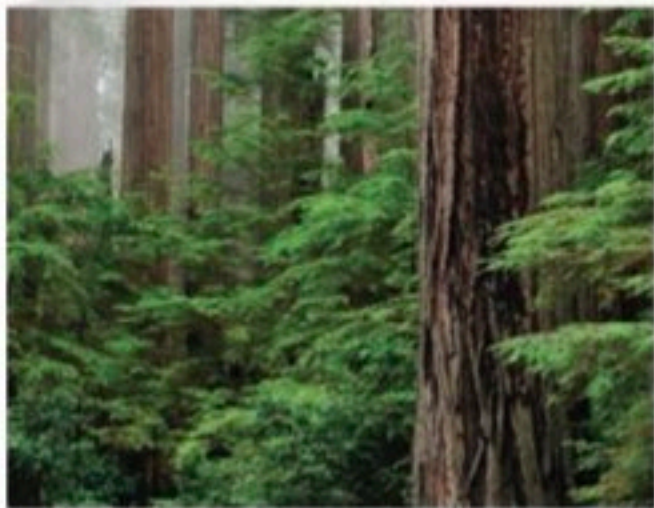
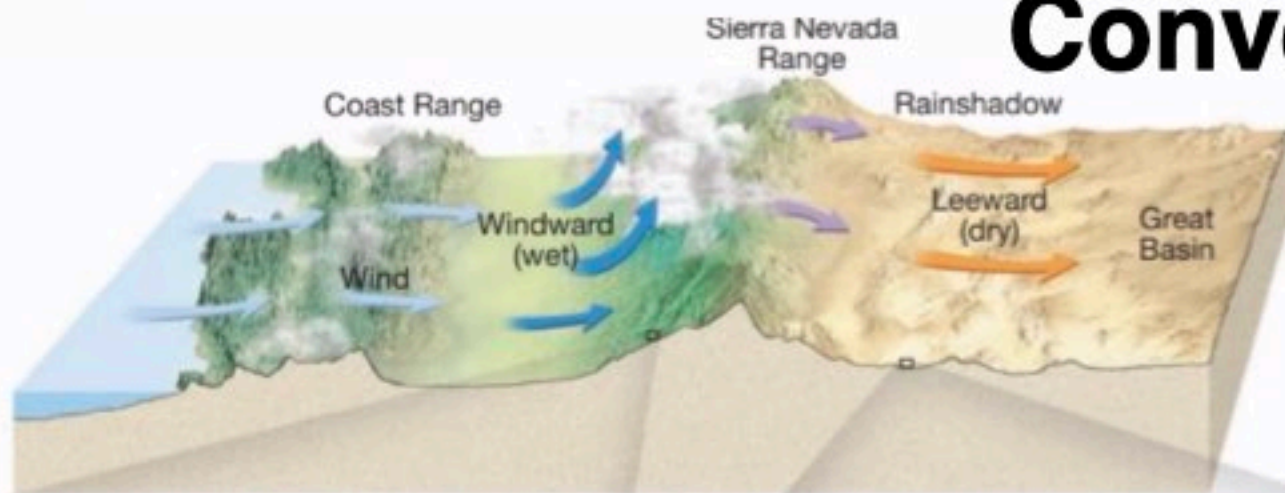


El contingut total d'aigua es manté! (vapor + aigua líquida)
Però la humitat final < humitat inicial

Mecanismes de forçament ascensional



Convecció per escalfament



Aixecament per Fronts

Ascens orogràfic i efecte Föhn

Exercici 4:

Per aquest dijous i divendres (23 i 24 de febrer de 2023) estan previstes pluges a Barcelona.

Abans de que plogui:

Busqueu a internet una previsió de pluja basada en com a mínim un model meteorològic numèric i recolliu la següent informació:

- Quin model s'ha utilitzat, quina resolució (mida de pixel) té, temps en el que s'ha iniciat l'execució del model (el que determina quines observacions han estat introduïdes), i pàgina web/font de la que heu obtingut la previsió.
- Quin dia i a quina hora està prevista que s'iniciï la pluja a Barcelona (quan comença a ploure al menys 1 mm/h a sobre de Barcelona).
- Quin és el valor de pluja acumulat horari previst per aquella hora.
- Dia i hora en que es preveu que plogui més fort i quin és el valor previst pel model.
- A quina hora aproximadament deixarà de ploure (de forma permanent).

Després de que plogui:

- Expliqueu segons la vostra observació si ha començat a ploure realment en el dia i hora previst
- Busqueu a internet la quantitat de pluja recollida en algun pluviòmetre proper a on viviu (o a Barcelona) i compareu-les amb la previsió.