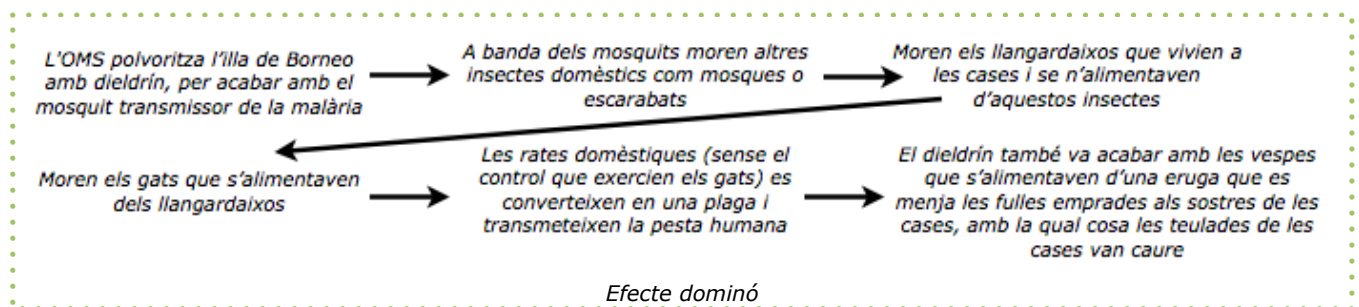
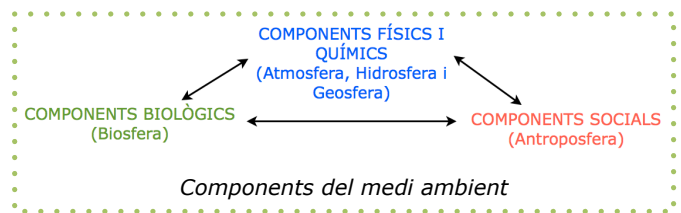


## 1. CONCEPTES BÀSICS :

- **Medi ambient:** Segons la Conferència de les Nacions Unides d'Estocolm de l'any 1972, el medi ambient és: El conjunt de components físics, químics, biològics i socials capaços de causar efectes directes o indirectes en un termini curt o llarg sobre els éssers vius i les activitats humanes. Dit d'altra forma, el medi ambient és tot allò que ens envolta i que és capaç d'influir sobre els éssers vius.
- **Efecte Dominó:** Els components del medi ambient influeixen uns sobre altres, de forma que una alteració en un d'ells arrossega una sèrie d'efectes encadenats sobre la resta.

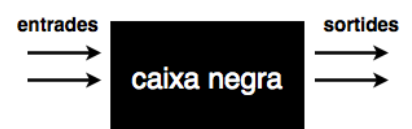


- **Estudi interdisciplinari:** L'estudi del medi ambient s'aborda des de diferents disciplines del coneixement: biologia, química, geologia, física, matemàtiques, economia, sociologia, enginyeria, geografia...
- **Enfocament holístic:** És una forma d'estudiar un sistema globalment, tenint en compte les relacions entre les parts implicades, ja que aquestes poden donar lloc a propietats emergents que no es detectarien si s'estudiaren les parts del sistema per separat. L'enfocament holístic és propi dels estudis ambientals, a diferència de l'enfocament reduccionista que analitza els problemes aïllant les parts del sistema.
  - **Enfocament holístic (o sistèmic):** analitza el sistema globalment. Per exemple quan s'estudien els efectes de la desforestació s'han d'avaluar no sols les conseqüències sobre la biosfera, també cal analitzar els seus efectes sobre la geosfera (ja que es produeix l'erosió i pèrdua del sòl), sobre l'atmosfera (increment dels nivells de CO<sub>2</sub>) i la hidrosfera (disminució de la capacitat de retenció d'aigua del sòl i pèrdua d'aquesta per escorrentia).
  - **Enfocament reduccionista (o analític):** analitza un problema aïllant les parts del sistema. Per exemple, en l'estudi de les reaccions químiques, s'aïlla el recipient per a evitar l'intercanvi d'energia i matèria amb l'exterior
- **Propietats emergents:** Es tracta de propietats que apareixen quan interaccionen les diferents parts d'un sistema i que no es manifesten individualment. Com a exemple tenim que de la interacció entre els diferents aparells i sistemes d'un organisme apareix una propietat emergent la vida. Un altre exemple de propietat emergent és l'estabilitat dels ecosistemes que s'aconsegueix gràcies a les interaccions entre els components d'aquest: relacions entre els diferents subsistemes, relacions tròfiques, etc.

## 2. SISTEMES :

- Sistema:** Conjunt de parts interrelacionades del qual interessa conèixer el comportament global (enfocament holístic). Exemples: ésser viu, bosc, atmosfera, ecosistema, una ciutat...
- Models:** Són versions simplificades de la realitat que resulten molt útils en l'estudi de sistemes complexos. Per a l'estudi de la dinàmica de sistemes s'utilitzen **models formals**. En aquests models les relacions entre les parts s'estableixen mitjançant equacions matemàtiques i permeten fer prediccions del comportament. Per a realitzar els càlculs s'utilitzen programes informàtics.
- Tipus de models formals:**

- ➔ **Models caixa negra.** S'empren quan volem estudiar els intercanvis de matèria i energia entre un sistema i l'exterior. Es representen amb una caixa dins la qual no volem mirar, sols ens interessen les entrades (input) i les sortides (output). Es classifiquen en **sistemes aïllats, tancats i oberts**.





Sistema Solar: Sistema aïllat.  
No intercanvia energia ni matèria

Energia  
(Llum solar)



Bosc: Sistema tancat.  
Sols intercanvia energia

Energia  
(calor)

Energia (Llum solar, electricitat, combustibles)  
Matèria (Aliments, aigua i béns d'ús)



Ciutat: Sistema obert. Intercanvis d'energia i matèria

Energia (calor)

Matèria (CO<sub>2</sub>, residus)

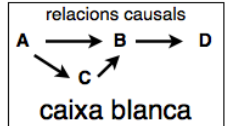
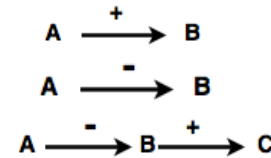
► **Models caixa blanca.** Són diagrames on es representen les relacions entre les parts del sistema mitjançant fletxes, les quals s'anomenen relacions causals. Les relacions causals poden ser:

► Simples:

- Directes: Si  $A \uparrow B \uparrow$ . Es representen amb un signe +

- Inverses: Si  $A \uparrow B \downarrow$ . Es representen amb un signe -

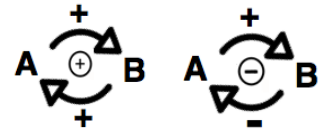
- Encadenades:  $+ \cdot + = +$ ,  $+ \cdot - = -$ ,  $- \cdot - = +$



► Complexes:

- Bucles de realimentació positiva: Produeix un increment exponencial de la variable

- Bucles de realimentació negativa o homeostàtics: Tendeixen a estabilitzar els sistemes

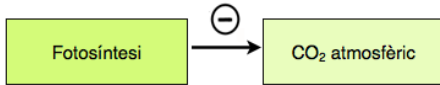


Exemples de relacions causals:

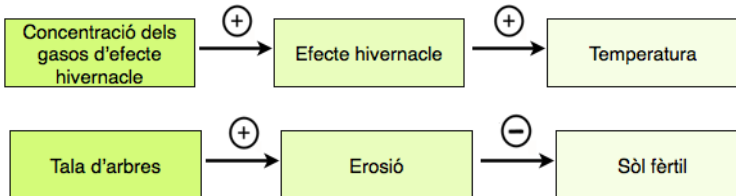
1. Relació causal simple- directa:



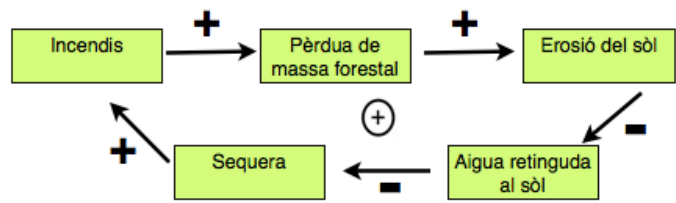
2. Relació causal simple- inversa:



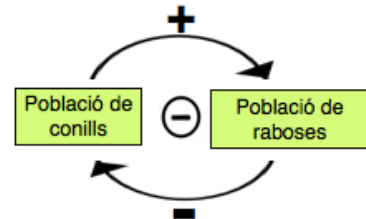
3. Relacions causals encadenades:



4. bucle de realimentació positiva



5. Bucle de realimentació negativa



### 3. L'ENERGIA EN ELS SISTEMES :

Qualsevol sistema ha de complir els principis termodinàmics que determinen els intercanvis d'energia:

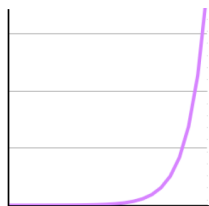
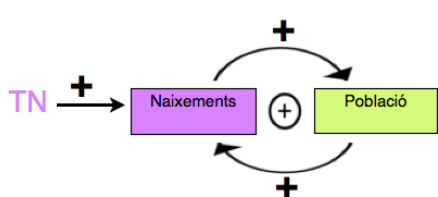
► **1a Llei de la Termodinàmica:** *L'energia no es crea ni es destrueix, sols es transforma.* Per tant, l'energia que entra a un sistema és igual a l'energia emmagatzemada al sistema més l'energia que surt del sistema.  $E_{entra} = E_{emmagatzemada} + E_{surte}$

► **2a Llei de la Termodinàmica:** *En un sistema aïllat (que no intercanvia energia amb l'entorn) l'entropia (S) tendeix a augmentar de forma espontània.* Com que l'entropia és una magnitud que mesura el desordre, podem dir que els sistemes, de forma espontània, tendeixen al desordre. Els éssers vius, per a mantenir el sistema ordenat (baixa entropia), necessiten consumir energia externa (en forma d'aliment)

### 4. APLICACIÓ DELS MODELS A L'ESTUDI DE SISTEMES AMBIENTALS: CREIXEMENT POBLACIONAL

El creixement d'una població qualsevol (animal, vegetal, bacteris, etc) pot estudiar-se emprant relacions causals:

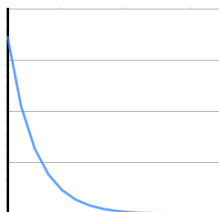
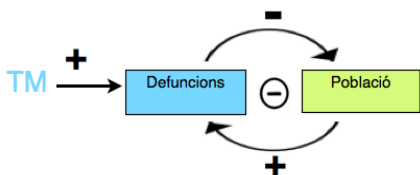
► **Taxa de Natalitat (TN):** Nombre d'individus que naixen per cadascun existent a la població (en tant per 1). Si dibuixem el diagrama causal veiem que apareix un bucle de realimentació positiva que donaria lloc a un creixement exponencial de la població.



Es podria calcular el nombre d'individus en cada any a partir dels individus de l'any anterior i la taxa de natalitat:

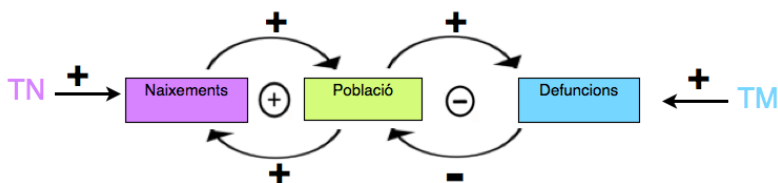
$$N_{t+1} = N_t + N_t \cdot TN$$

► **Taxa de Mortalitat (TM):** Nombre d'individus que moren per cadascun existent a la població (en tant per 1). El diagrama causal dona un bucle de realimentació negativa, el qual produeix un decreixement exponencial de la població.



$$N_{t+1} = N_t - N_t \cdot TM$$

► **Potencial biòtic (r):** Combinant els dos mecanismes obtenim el diagrama causal del creixement d'una població:



Sumant les dues equacions anteriors tenim que:

$$N_{t+1} = N_t + N_t \cdot TN - N_t \cdot TM$$

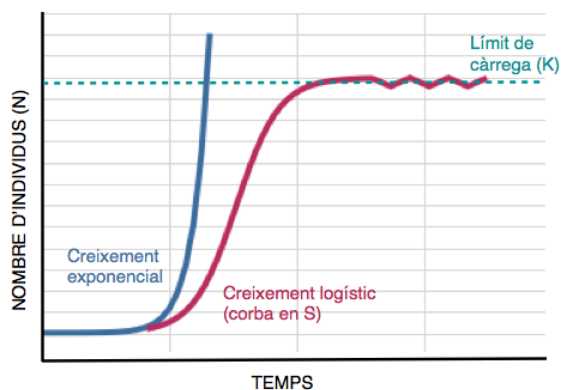
$$N_{t+1} = N_t \cdot (1 + TN - TM)$$

$$r = TN - TM$$

$$N_{t+1} = N_t \cdot (1 + r)$$

El **potencial biòtic, r**, es defineix com la **màxima capacitat de reproducció d'una espècie en condicions òptimes**, representa la **diferència entre la taxa de natalitat i la taxa de mortalitat**:

- Quan una espècie colonitza un nou territori  $TN > TM$ , de forma que  $r > 0$  i tenim un creixement ràpid de la població (guanya el bucle positiu)
- Arriba un punt en el que  $TN = TM$ ,  $r = 0$  (el nombre de naixements i defuncions és el mateix). Això passa quan s'assoleix el límit de càrrega d'un territori (màxima quantitat d'individus que es poden mantenir en el territori). En aquest moment tenim un creixement zero o estacionari (les entrades són iguals a les sortides).
- La forma real que presenta la corba de creixement d'una població és la de la figura: **creixement logístic o en S**. Una vegada assolit el límit de càrrega la població es manté amb una sèrie de fluctuacions al voltant d'aquest.

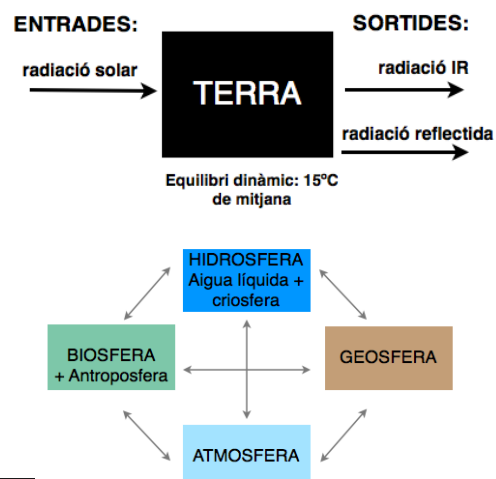


## 5. MODELS DE REGULACIÓ DEL CLIMA TERRESTRE

- **LA TERRA COM A SISTEMA CAIXA NEGRA:** Si estudiem la Terra com un sistema caixa negra veiem que tenim entrades i sortides d'energia, però no de matèria. Per tant la Terra es comporta com un sistema tancat. L'energia que entra és major que la que surt, això suposa que una part queda emmagatzemada i permet mantenir una temperatura mitjana de 15°C al planeta.
- **LA TERRA COM A SISTEMA CAIXA BLANCA:** La **màquina climàtica de la Terra** és un sistema format per la interacció dels **quatre subsistemes terrestres: Atmosfera, Hidrosfera, Biosfera i Geosfera**. La màquina climàtica (S) pot representar-se per l'equació:

$$S = A U H U B U G$$

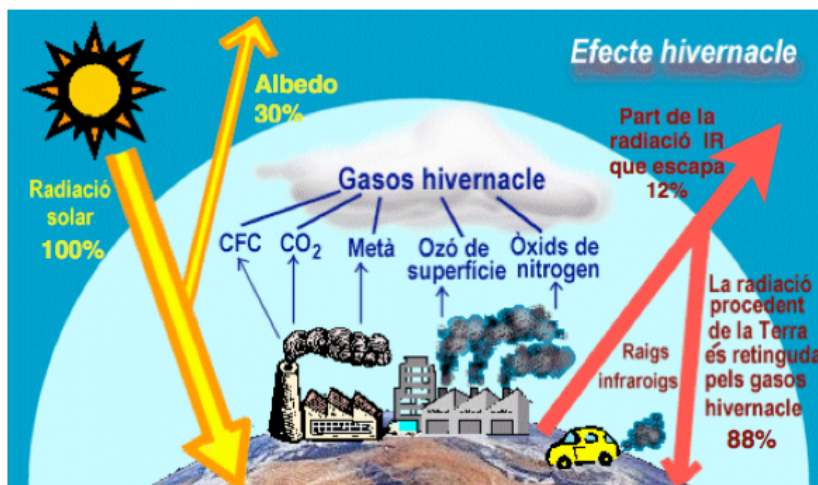
\*El símbol U representa les interaccions entre els subsistemes



- Per a realitzar prediccions meteorològiques, sols cal tenir en compte la influència de l'atmosfera (valors de pressió, temperatura, humitat, etc. de l'aire). En aquest cas podem simplificar l'equació:  $S = A$
- En els estudis climàtics (períodes de 20- 30 anys) també cal observar la influència de la hidrosfera i de la geosfera. Aquestos subsistemes influeixen sobre el clima a través dels corrents oceànics i els volcans, respectivament.  $S = A U H U G$
- Per a realitzar estudis a més llarg termini (> 100 anys), hi ha que observar l'equació completa.

► **FACTORS QUE DETERMINEN EL CLIMA TERRESTRE:**

a) **Efecte hivernacle i el seu increment:**



► **Efecte hivernacle:**

Fenomen atmosfèric natural que es produeix als primers 12 km de l'atmosfera (troposfera). Consisteix en que determinats gasos presents en l'atmosfera deixen passar la radiació solar (més energètica) però no deixen escapar la major part de la radiació IR (calorífica) emesa per la Terra.

► **Beneficis de l'efecte hivernacle:**

- Manteniment de la temperatura terrestre al voltant dels 15°C de mitjana
- Sense efecte hivernacle la temperatura seria de -18°C (l'aigua estaria congelada)
- No existiria la vida tal com s'entén actualment

► **Gasos d'efecte hivernacle (GEI) i el seu origen natural:**

- **Vapor d'aigua (H<sub>2</sub>O):** Evapotranspiració
- **Diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>):** Respiració, vulcanisme, incendis naturals
- **Metà (CH<sub>4</sub>):** Descomposició de matèria orgànica, digestió dels remugants
- **Òxid nítrós (N<sub>2</sub>O):** Descomposició bacteriana de compostos nitrogenats, tempestes
- **Ozó troposfèric (O<sub>3</sub>):** Tempestes

► **Causes de l'increment de l'efecte hivernacle:**

- ↑ **CO<sub>2</sub>:**
  - Crema de combustibles fòssils (transport, indústria i generació d'electricitat)
  - Desforestació
  - Incendis
- ↑ **CH<sub>4</sub>:**
  - Increment de superfície de cultius com l'arròs
  - Ramaderia intensiva
  - Abocadors de residus i mineria del carbó
- ↑ **N<sub>2</sub>O:**
  - Activitats agrícoles: ús de fertilitzants i pesticides
  - Crema de combustibles i biomassa
- ↑ **Ozó troposfèric (O<sub>3</sub>):** Contaminant secundari procedent de reaccions fotoquímiques
- ↑ **Clorofluorocarbonis (CFC):** Aerosols i refrigerants (Origen exclusivament antropogènic)

► **Conseqüències de l'increment de l'efecte hivernacle:**

- Augment de la temperatura mitjana terrestre
- Ruptura dels cicles biològics naturals
- Disminució dels gels i augment del nivell del mar
- Modificació de processos com la cinta transportadora oceànica i les corrents marines que regulen els climes terrestres
- Exageració dels fenòmens meteorològics: Augment de les pluges torrencials en uns punts i de les sequeres en altres, increment dels huracans, onades ...

b) **Efecte albedo:** Percentatge de la radiació solar reflectida per la Terra del total que hi arriba. L'albedo té un valor aproximat del 30% (significa que de tota la radiació solar incident sols arriba a la superfície un 70%). L'albedo depèn del color de la superfície: la neu i els gels permanents són molt reflectores (posseixen un elevat albedo). L'increment de l'albedo provoca un descens de la temperatura terrestre. Si ens fixem en la figura veiem que tenim un bucle de realimentació positiva, això suposa que, d'activar-se el cicle de l'albedo es prodria produir una glaciació.

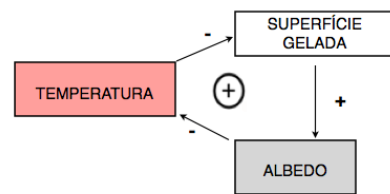


Diagrama causal: Efecte albedo

c) **Núvols:** Els núvols tenen un efecte difícil de predir.

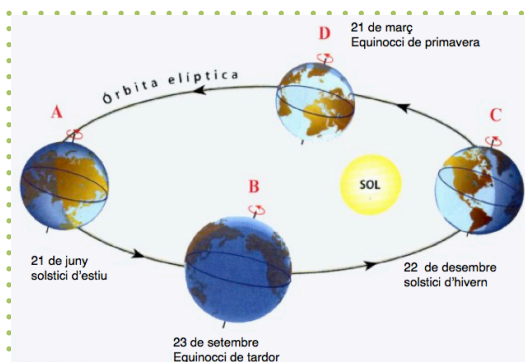
- Els núvols alts: ↑ l'efecte hivernacle, per tant ↑ la temperatura terrestre
- Els núvols baixos: ↑ l'efecte albedo, per tant ↓ la temperatura terrestre

d) **Volcans:** Els volcans emeten gasos i cendres, els quals tenen també una doble acció sobre la temperatura:

- Les emissions de SO<sub>2</sub> i cendres: ↑ pols atmosfèrica + boires de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, les quals ↑ l'efecte albedo i, per tant, ↓ temperatura terrestre. Les cendres i boires de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tenen un temps de permanència en

l'atmosfera curt, de forma que ,en els primers anys després d'una erupció, s'apreciarà un descens de la temperatura.

- Les emissions de CO<sub>2</sub>: ↑ l'efecte hivernacle, per tant ↑ T<sup>a</sup>. Les conseqüències de les emissions de diòxid de carboni es manifesten una vegada passat l'efecte anterior, així, a llarg termini, s'apreciarà un augment de la temperatura



Moviment de translació de la Terra

e) **Variacions de la radiació solar incident:** La quantitat de radiació solar que arriba a la Terra no ha seguit constant en el temps. Es calcula que el Sol emet actualment ≈ un 30% més d'energia que abans de l'aparició de la vida a la Terra. Per una altra banda hi ha variacions periòdiques de la radiació rebuda per la Terra degudes als cicles astronòmics (Cicles astronòmics de Milankovitch):

- Variacions en l'excentricitat de l'òrbita terrestre en el seu moviment de translació (quan més el·líptica siga aquesta òrbita, més curt serà l'estiu)
- Variacions d'inclinació de l'eix de rotació de la Terra. L'angle d'inclinació determina l'existència de les estacions i la durada del dia i la nit. amb un eix vertical no hi hauria estacions i el dia i la nit durarien 12 hores cadascun.
- Posició en el periheli: El periheli és el punt de l'òrbita terrestre més proper al Sol

f) **Influència de la biosfera:** En l'actualitat la biosfera, a través de la fotosíntesi, intervé reduint el CO<sub>2</sub> atmosfèric i rebaixant, per tant, l'efecte hivernacle. En la història de la Terra la biosfera ha actuat modificant la composició de gasos de l'atmosfera. L'atmosfera primitiva, abans de l'aparició de la vida fa uns 3000 milions d'anys, tenia un alt contingut en CO<sub>2</sub>. Els primers organismes fotosintètics (cianobacteris), van utilitzar aquesta molècula per a sintetitzar matèria orgànica gràcies a l'energia del Sol. Aquesta reacció allibera oxigen, el qual va passar a l'atmosfera fins assolir la concentració actual del 21%. L'aparició de l'oxigen va permetre el desenvolupament d'organismes aerobis que l'utilitzen en el procés respiratori. Per una altra banda, en incrementar-se l'oxigen atmosfèric, es va propiciar la formació de la capa d'ozó a l'estratosfera, la qual protegeix la superfície terrestre dels raigs ultraviolats.

Si combinem l'acció dels sis factors sobre la temperatura, obtenim el diagrama causal de la figura:

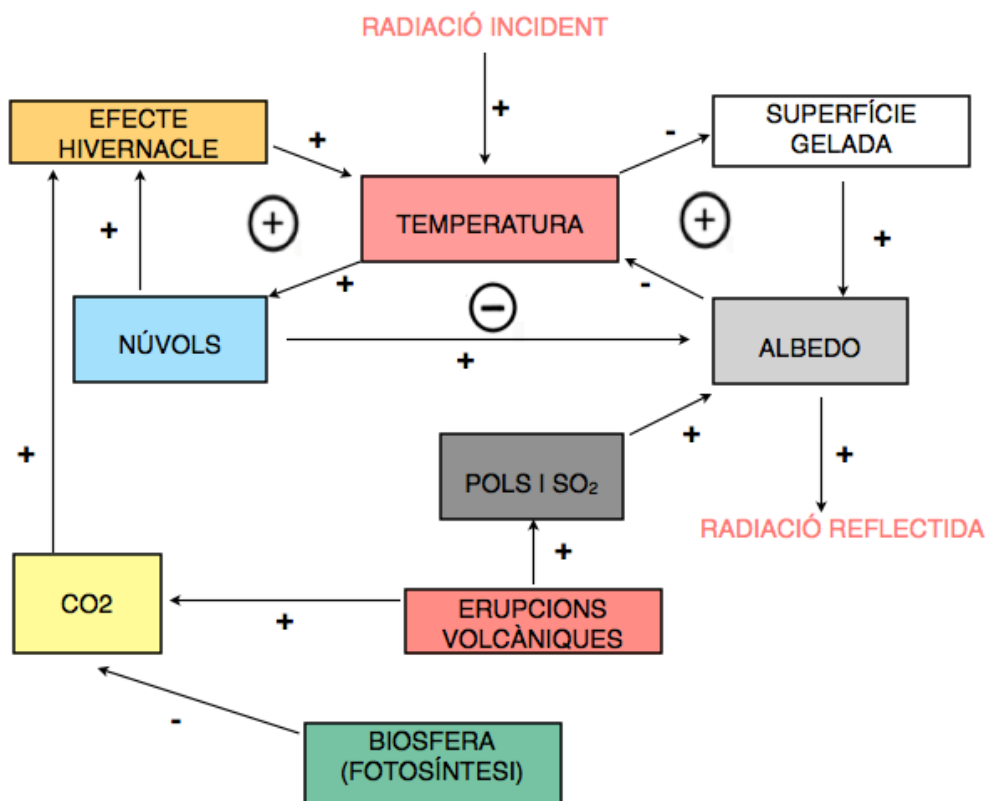


Diagrama causal: Regulació del clima terrestre