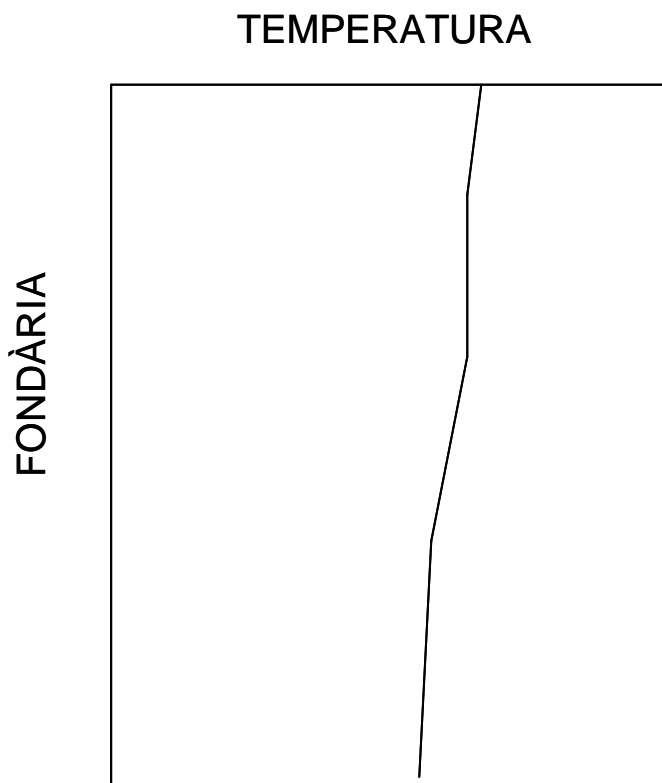


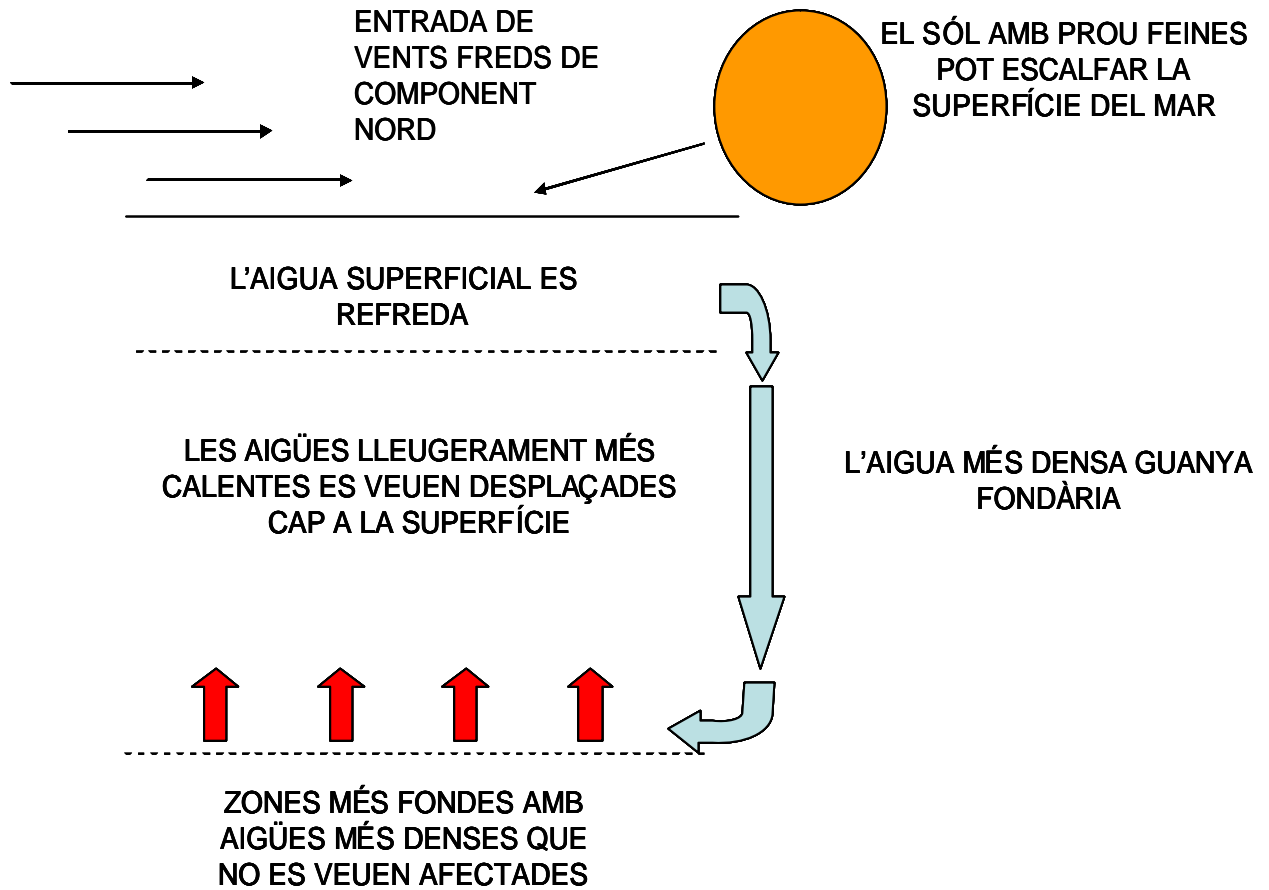
Tal com s'ha explicat en la part física de l'apartat *Pas de les estacions en un mar temperat*, el Mediterrani occidental està sotmès a un règim climàtic molt variable durant tot l'any. Aquesta variabilitat de la climatologia també té uns efectes molt importants en la distribució de les característiques fisicoquímiques de la columna d'aigua, sobretot en les capes més superficials. Aquests efectes repercuteixen de manera directa sobre els processos biològics que s'hi produeixen i provoquen canvis molt importants en les comunitats que hi trobem, especialment en les d'organismes que ocupen els primers nivells de la xarxa tròfica.

Durant l'hivern, els forts vents, generalment de component nord i molt freds, ajuden a refredar de forma acusada les capes més superficials de la columna d'aigua, i poden arribar a valors al voltant dels 13 °C. L'aigua, per sobre de 4° C, augmenta la seva densitat a mesura que en baixa la temperatura. D'aquesta manera en refredar-se, les capes més superficials es tornen més denses, i quan tenen una densitat superior als valors de densitat de les capes inferiors s'enfonsen fins arribar a una fondària on troben l'equilibri. Aquest descens, que pot superar el centenar de metres, provoca, a la vegada, l'ascens d'aigües inferiors més calentes que, en arribar a la superfície, es tornen a refredar, de manera que creen les anomenades cèl·lules de convecció, que fan que la columna d'aigua quedi pràcticament homogeneïtzada.

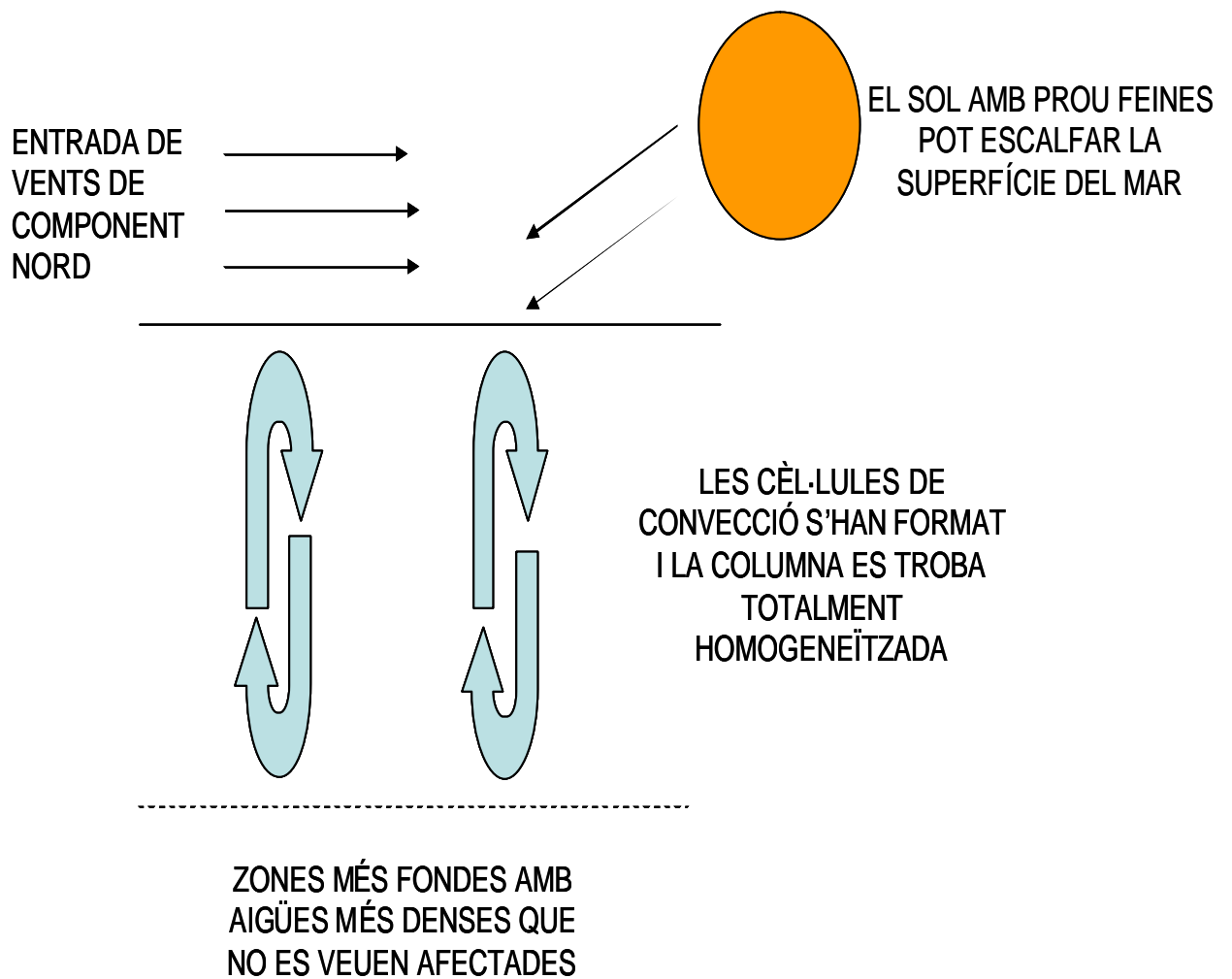
SITUACIÓ 1 - Finals de tardor. La termoclina s'ha trencat i la columna està força homogeneïtzada tot i que la temperatura encara no ha baixat als mínims.



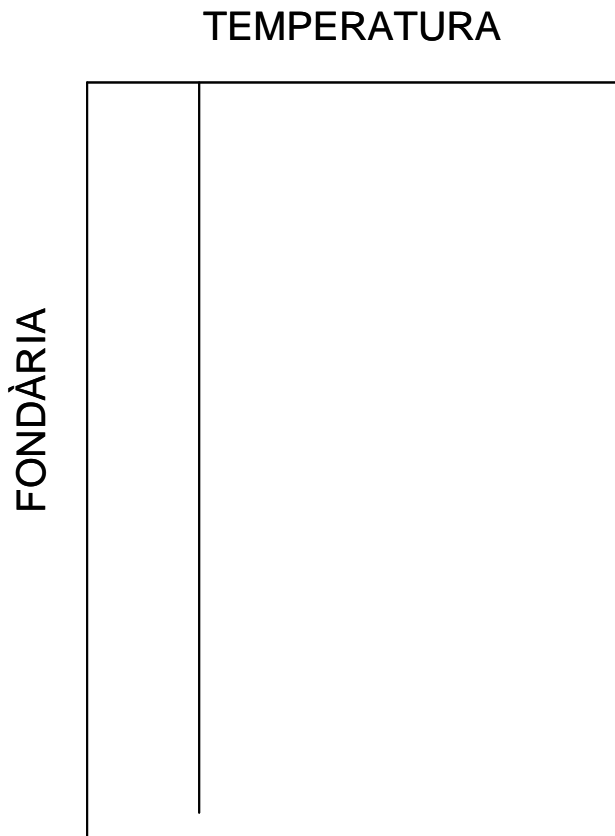
SITUACIÓ 2 – A finals de tardor i inicis d'hivern els vents freds de component nord refreden les aigües superficials, es tornen més denses i s'enfonsen fins a una fondària on es trobin en equilibri



SITUACIÓ 3 – Durant l'hivern, les aigües més fredes es van enfonsant i desplacen cap a la superfície les situades a més fondària, més calentes i pertant menys denses. Quan aquest procés està en marxa es diu que s'han format les cèl·lules de convecció que homogeneïtzen els primers centenars de metres de la columna d'aigua.



SITUACIÓ 4 – A finals d’hivern la temperatura de les capes superficials està absolutament homogeneïtzada amb valors al voltant dels 13 o 14 °C.



Dins d'aquest context d'hidrodinamisme podem estudiar quina és la dinàmica de les poblacions que viuen a la columna d'aigua.

Les cèl·lules de convecció fan que la columna d'aigua s'homogeneïtzi, a vegades fins a fondàries de centenars de metres. Això implica que les aigües ascendents vinguin carregades de nutrients, ja que provenen de cotes on, per l'absència de llum, no poden ser aprofitats per fer la fotosíntesi per part dels productors primaris.

Tenim, per tant, unes condicions que semblen idònies perquè el fitoplàncton comenci a proliferar, ja que la concentració de nutrients a l'aigua és molt alta. Ara bé, hem de tenir en compte altres factors que no són tan favorables i inhibeixen que aquest creixement sobtat es produeixi. Per una banda l'època de l'any correspon a un període en què les hores diàries de llum solar disponible són molt reduïdes i això limita la capacitat fotosintètica de molts productors primaris. A més, com hem comentat abans, la temperatura de l'aigua és força freda i això provoca que el metabolisme dels organismes sigui molt més baix, de manera que alguns queden gairebé en estat de latència, fet que disminueix, per tant, la taxa d'activitat fotosintètica dels organismes que en puguin fer. Finalment, com a tercer factor, els règims turbulents en què es troben les aigües, afectades no només pels vents que les refreden, sinó també pels mateixos moviments de convecció, que fan disminuir el temps de residència dels organismes superficials abans de ser arrossegats per les masses d'aigua descendents fins a fondàries on no tenen prou llum per dur a terme l'activitat fotosintètica, de manera que el temps de què disposen a la superfície és limitat.

Si tenim tot això en compte, cal suposar que durant l'hivern les taxes de producció no són gaire elevades. Principalment trobem diatomees, organismes fotosintètics del plàncton que tenen la capacitat de viure en règims turbulents. Tot i això, la seva productivitat no és gaire alta per les raons esmentades abans. De vegades, de manera molt localitzada es poden donar certes condicions que permeten l'aparició d'increments sobtats de les poblacions fitoplanctòniques, però, generalment, són de breu durada, i, només a finals d'aquesta estació i principis de la primavera, les poblacions comencen a créixer considerablement.

Per tant, és lògic suposar que, en absència de comunitats fitoplanctòniques abundants, les poblacions de zooplàncton gairebé no s'han desenvolupat i per tant, la quantitat d'organismes zooplànctònics que hi podem trobar és limitada. És precisament per això, però, que, molt sovint, la varietat i diversitat observades en aquesta època són molt superiors a les d'èpoques més productives, en què unes poques espècies són molt dominants.

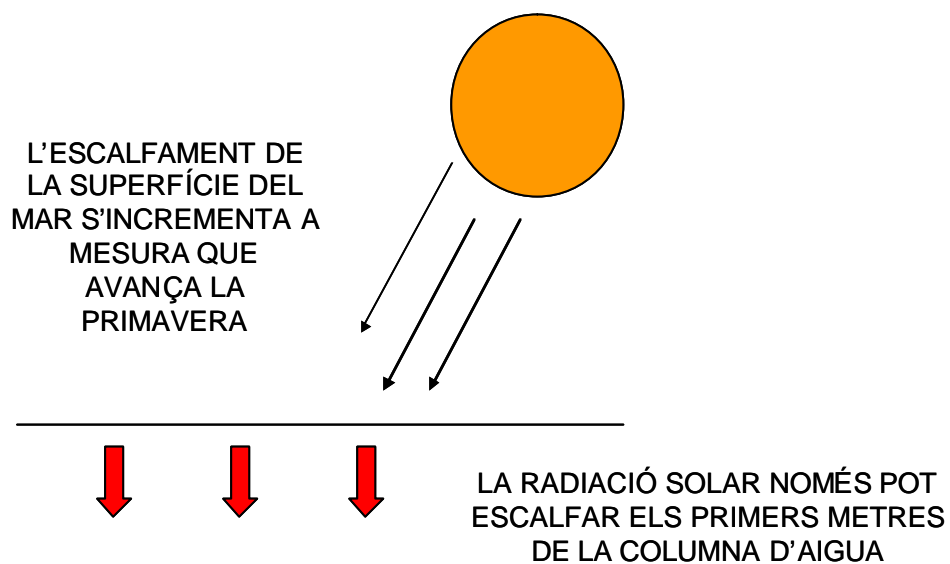
També és fàcil d'entendre per què algunes espècies marines trien l'hivern com a època de reproducció, ja que la baixa abundància de zooplàncton fa que la pressió depredadora sobre els seus ous, embrions i estadis larvaris sigui inferior i, per tant, augmenti la taxa de supervivència. És el cas de la garota de roca (*Paracentrotus lividus*).

Amb l'arribada de la primavera, els vents del nord i el fred hivernal comencen a deixar pas a un increment progressiu de les temperatures.

Davant aquesta nova situació semblaria lògic que l'aigua comencés a escalfar-se notablement, però hi ha propietats d'aquest líquid que fan que això no sigui ben bé així. Per una banda, l'aigua té una calor específica excepcionalment alta, és a dir, es necessita subministrar molta energia per augmentar-ne la temperatura, de manera que per escalfar un volum com el del Mediterrani caldria una quantitat d'energia immensa. A més, la fracció de l'espectre de la radiació solar que escalfa l'aigua té una penetrància relativament petita, i, per tant, aquesta radiació solar amb prou feines escalfa la primera desena de metres de la columna d'aigua. Finalment l'aigua gaire bé no s'escalfa per conducció sinó que ho fa sempre per barreja (energia turbulenta).

Ens trobem, doncs, davant d'un increment de les hores diàries de radiació solar i que els rajos solars incideixen més perpendicularment, però per altra banda tenim un líquid amb una alta calor específica, en què la radiació solar hi penetra molt poc i que no transmet l'escalfor per conducció. En aquestes circumstàncies només s'haurien d'escalfar els primers metres de la columna d'aigua i deixar la resta amb una temperatura gairebé constant. Però en aquesta època de l'any també, com ja hem comentat abans, els vents de component nord perden força i comencen a bufar els de component sud i sud-oest. Aquests, com ja passava a l'hivern, remenen l'aigua i permeten que l'energia solar que s'acumula en superfície sigui distribuïda per turbulència cap a capes més fondes. D'aquesta manera s'observa com, de manera molt suau però progressiva, les capes més superficials de la columna d'aigua van augmentant de temperatura, i a la vegada, de fondària, comença a aparèixer l'anomenada termoclina estacional, una capa de transició que separa les aigües més superficials que s'estan escalfant de les més fondes i fredes. A mesura que avança la primavera, la incidència de l'energia solar és més gran i això fa que, progressivament, la temperatura de l'aigua augmenti i la termoclina guanyi fondària.

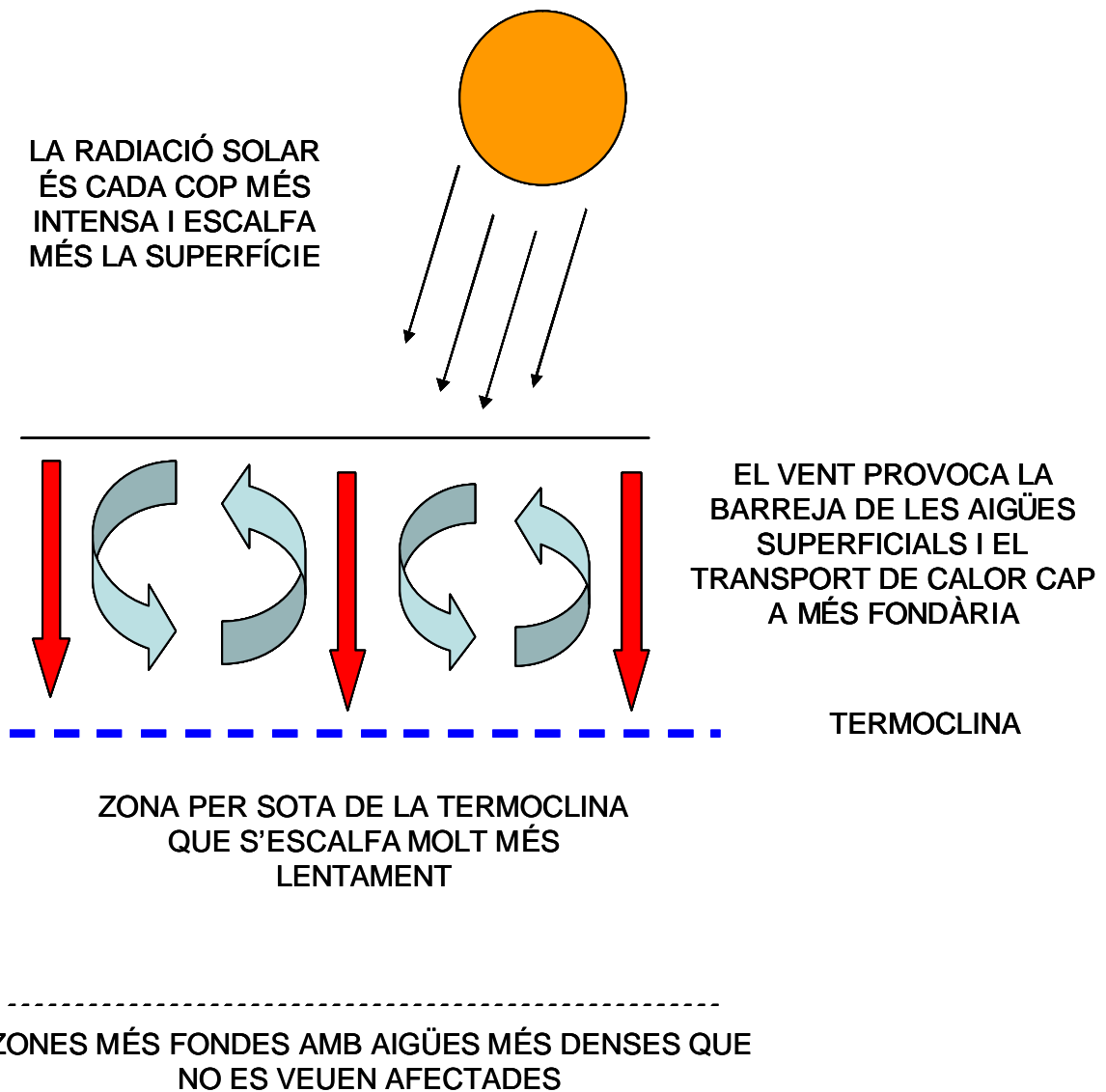
SITUACIÓ 5 – A mesura que s’acaba l’hivern i comença la primavera, l’increment de la radiació solar fa que s’escalfin les capes més superficials de la columna d’aigua



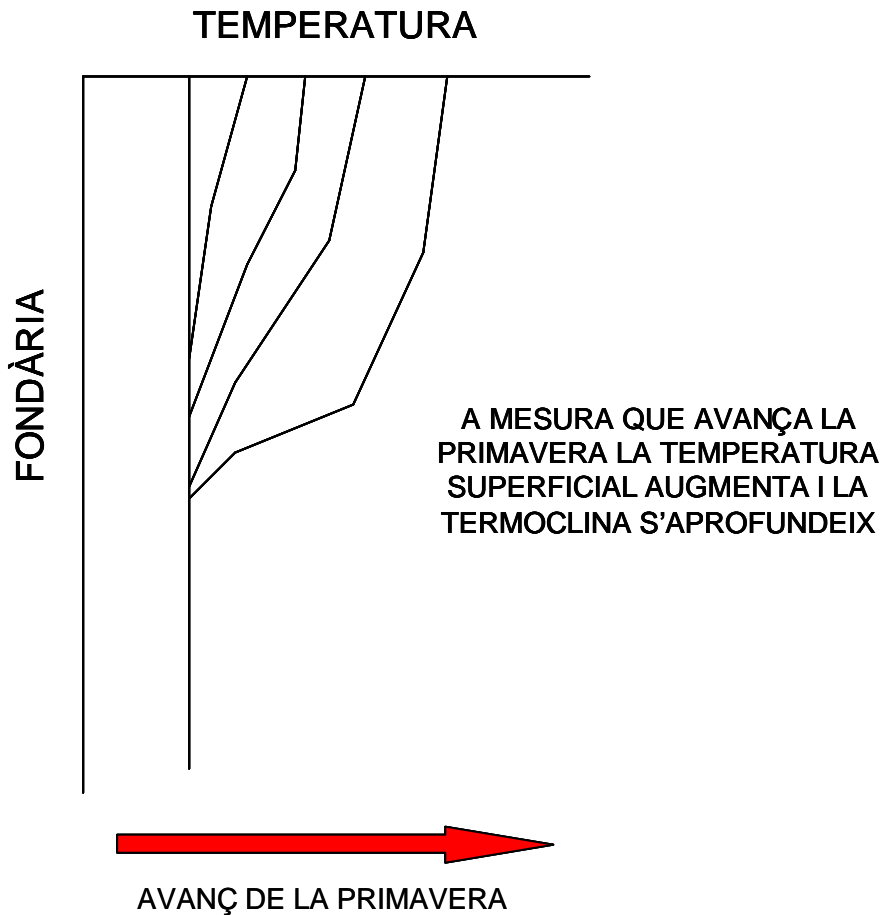
---

ZONES MÉS FONDES AMB AIGÜES MÉS DENSES QUE NO ES VEUEN AFECTADES

SITUACIÓ 6 – La radiació solar continua escalfant la superfície del mar. L'energia calorífica subministrada pel sol, que en principi només afecta els primers metres de la columna d'aigua és transportada a fondàries superiors per l'energia del vent provocant l'aparició de la termoclina.



SITUACIÓ 7 - Veiem com durant la primavera les temperatures superficials augmenten i la termoclina guanya fondària



En aquest context podem veure com els tres principals limitadors que ens trobàvem a l'hivern perquè hi hagués un esclat de producció fitoplanctònica, a finals d'aquesta estació perden importància.

Els dies curts i foscos hivernals deixen pas a més hores de llum i una radiació incident més intensa en la superfície. Les baixes temperatures a poc a poc es van recuperant i deixen de ser un inhibidor per a l'activitat dels organismes. Finalment, la forta dinàmica provocada pels corrents de convecció que sovint transportaven els productors primaris a fondàries on no hi arribava la llum del Sol ara és substituïda per un nou règim, que tot i que molts cops és turbulent, es limita a unes desenes de metres i, per tant, a la zona on hi arriba la llum del Sol.

A tot l'anterior hi hem d'afegir que la concentració de nutrients a la columna d'aigua continua sent molt alta, ja que els efectes de l'homogeneïtzació hivernal encara són patents i les escasses poblacions de fitoplàncton residents a l'hivern només n'han consumit una mínima part.

És en aquesta època quan la producció primària augmenta bruscament i es produeixen els anomenats *blooms* o explosions de fitoplàncton. Els pics estacionals que es poden produir són molt alts, i també molt importants per al manteniment de les estructures tròfiques dels ecosistemes pelàgics en què ens trobem. L'altíssima taxa de creixement i

reproducció del fitoplàncton i l'escàs temps de residència d'aquests organismes són els principals causants d'aquest increment exagerat de la producció.

Amb tot, aquests valors de productivitat queden molt lluny dels observats en altres zones amb unes condicions ben diferents. És el cas, per exemple, dels afloraments oceànics de Cap Verd o la costa peruana o, fins i tot al mateix Mediterrani, les zones d'aflorament del mar d'Alboran, molt productives gràcies a les condicions locals. Això es deu al fet que, tot i que aquests episodis estacionals d'alta productivitat són importants, el Mediterrani és, en general, un mar oligotròfic, és a dir, pobre en nutrients, i la seva producció inferior a la de molts altres mars i oceans.

Com ja hem comentat, a l'hivern les poblacions de fitoplàncton estan dominades bàsicament per diatomees, més afins a aigües turbulentes i que requereixen concentracions altes de nutrients. A mesura que avança la primavera, els nutrients es van esgotant i les aigües, encalçant. És llavors quan s'inicia el declivi d'aquest grup i comencen a proliferar les poblacions de dinoflagel·lats, organismes fitoplanctònics amb flagel, que requereixen aigües més calmes i que estan molt més adaptats a baixes concentracions de nutrients. Veiem, doncs, com durant la primavera les estructures poblacionals fitoplanctòniques canvien notablement, en passar del domini de les diatomees al dels dinoflagel·lats. És clar que, juntament amb aquests dos grans grups, al fitoplàncton podem trobar altres poblacions, menys nombroses, com per exemple coccolitofòrids o silicoflagel·lats i molts d'altres, alguns de força desconeguts que hi apareixen gairebé testimonialment.

Si continuem amb l'argumentació aplicada a l'hivern, davant un increment de les poblacions fitoplanctòniques com el primaverall, ens trobem, amb un acoblament i una sincronia quasi perfectes, un augment sobtat, tot just unes setmanes després, de les comunitats del zooplàncton. L'alta taxa de renovació del fitoplàncton fa que l'abundància d'aliment per al zooplàncton estigui garantida, i això afavoreix el creixement sobtat de les poblacions d'algunes espècies, que es converteixen en dominants absolutes de l'ecosistema. La majoria són crustacis i, molt especialment, copèpodes. Hem passat, doncs, d'un hivern amb una abundància relativament baixa d'organismes zooplànctònics però amb una diversitat considerable, a una primavera amb una gran quantitat d'organismes però representants només d'unes poques espècies.

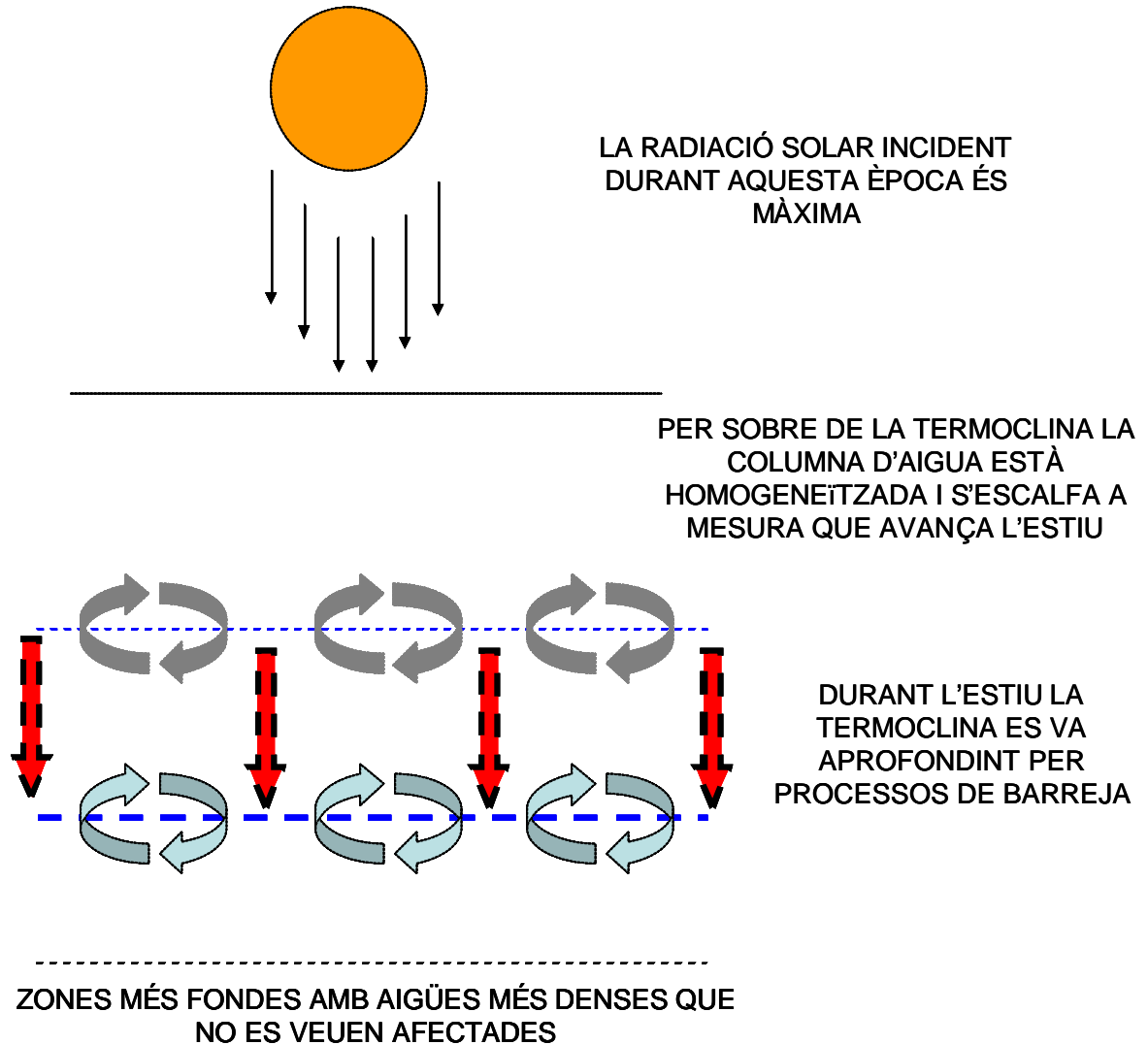
En aquest context és comprensible que moltes espècies de peixos i d'invertebrats tinguin en aquesta estació la seva època de reproducció, ja que les seves larves (en el cas dels peixos d'una mida considerable) troben en els seus hàbitats pelàgics una font d'aliment gairebé inesgotable que n'afavoreix la supervivència i creixement.

Coincidint amb el final de l'època primaverall ja ens acostumem a trobar-nos una termoclina força marcada i que lentament ha anat guanyant fondària. La massa d'aigua que hi ha a sobre es troba bastant homogeneïtzada i a una temperatura força més alta que la que hi ha per sota. A l'estiu la insolació arriba als seus màxims anuals de manera que l'aigua s'escalfa ràpidament per sobre de la termoclina i pot arribar a temperatures de més de 24 °C, i, tot i que és una època de relativa calma, les minses brises o suaus vents que s'hi produeixen homogeneïtzen de seguida la columna d'aigua per sobre de la discontinuïtat tèrmica. A més, en aquesta situació d'homogeneïtat acostuma a passar que les pertorbacions produïdes a la superfície, fruit de brises, vents i tempestes, és propaguin amb certa facilitat fins a trobar zones de discontinuïtat. En aquest cas la principal discontinuïtat és la termoclina, de manera que quan es produeixen aquestes pertorbacions, també tenen lloc, al seu voltant, fenòmens locals de barreja que fan que la seva fondària augmenti progressivament.

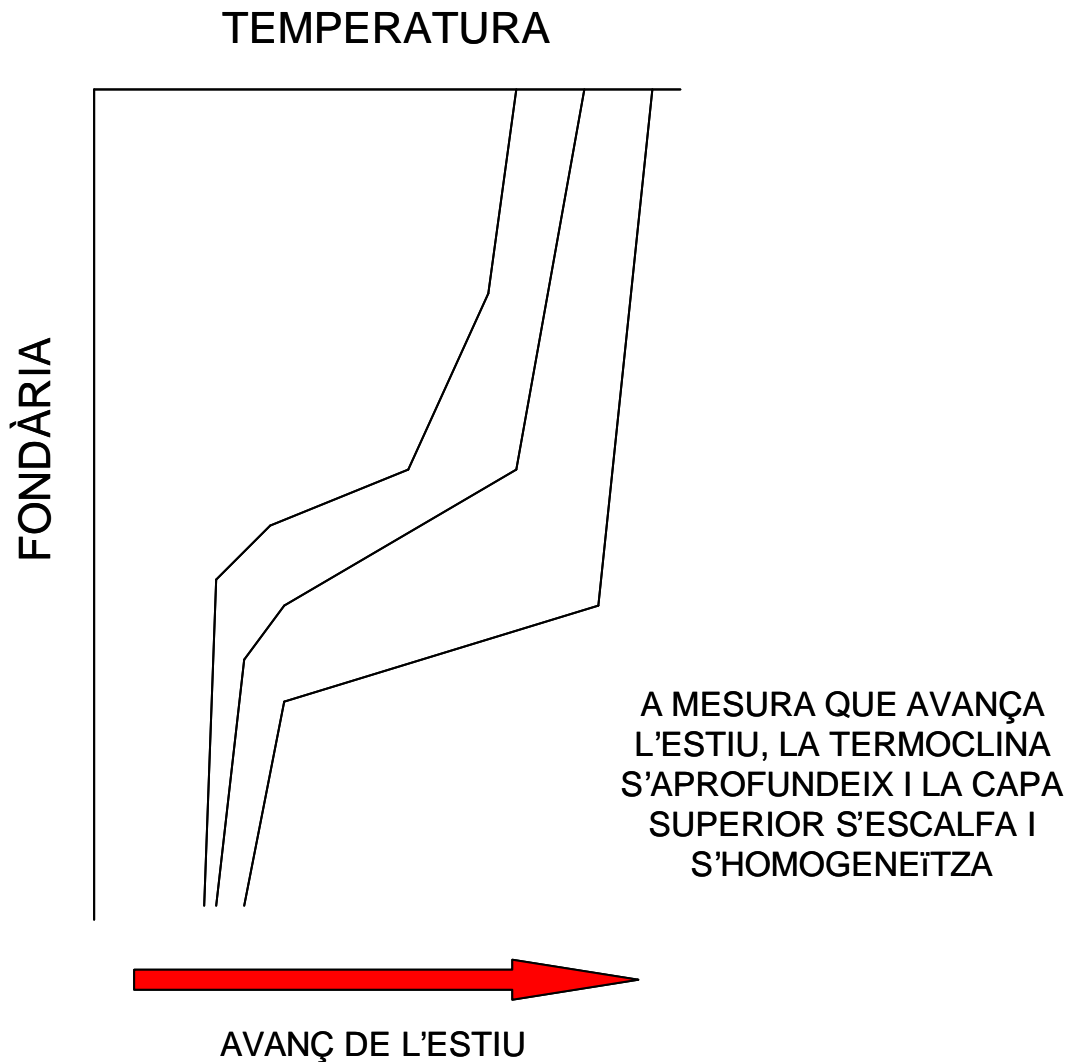
A vegades, fins i tot, si tenim un període de forta insolació, altes temperatures, poca pluja i relativa calma, es poden donar termoclines secundàries a molt poca fondària a causa de l'intens escalfament de la superfície del mar. No obstant, acostumen a ser curtes i, sovint, responen a processos locals que tenen efectes geogràfics limitats.

En resum, l'estiu és una època de relativa calma, amb un escalfament de la columna d'aigua per sobre de la termoclina i un aprofundiment progressiu d'aquesta.

SITUACIÓ 8 – La forta insolació i la calma relativa afavoreixen l'escalfament de la zona superficial de la columna d'aigua i el descens progressiu de la termoclina



SITUACIÓ 9 – El perfil mostra l'enfonsament progressiu de la termoclina i l'increment de temperatura i homogeneïtzació de les capes superficials.



Des del punt de vista biològic ens trobem amb la continuació lògica del que hem explicat a la primavera. Recordem que la primavera s'acabava amb dos pics consecutius de fitoplàncton i zooplàncton perfectament sincronitzats. A l'estiu les condicions es tornen més severes. La forta explosió de fitoplàncton ha exhaurit la majoria de nutrients disponibles, i la termoclina es converteix en una barrera gaire bé infranquejable per als nutrients que, per tant, no reemplacen els que han estat consumits. L'estiu és, doncs, una època de baixíssima producció, en què les diatomees pràcticament han desaparegut i les úniques poblacions que podem trobar de manera representativa són les de dinoflagel·lats. Òbviament, davant la manca d'aliment, el zooplàncton, continuant amb aquest acoblament fitoplàncton-zooplàncton, també veu fortament reduïda la seva presència. Això sí: torna a ser una bona època per observar-lo, ja que hi podem trobar una àmplia varietat de grups representats, tot i que en concentracions força baixes.

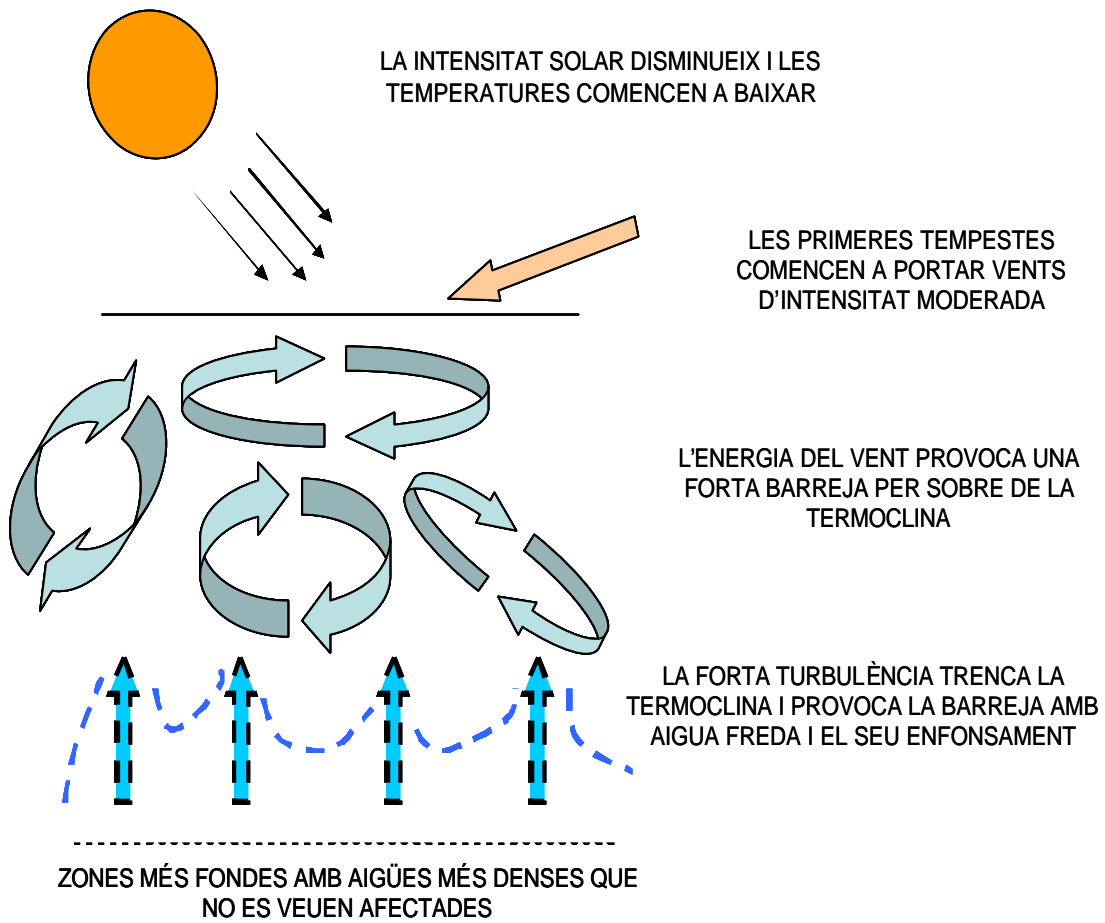
Amb tot plegat, ens trobem en una època de baixíssima productivitat i escassetat de nutrients. Però, de vegades, es poden produir episodis locals i esporàdics que trenquen

aquesta monotonia. Durant l'estiu es poden donar, puntualment, increments sobtats de la concentració de nutrients. Una de les causes en pot ser una tempesta prou forta que trenca durant un breu espai de temps la termoclina i permet l'ascens d'aigües més fredes i riques que afavoreixin un breu però intens episodi d'increment de les poblacions de fitoplàncton i de la productivitat. De la mateixa manera, també en aquesta època es poden produir altres episodis curiosos. En ocasions, la concentració de nutrients a les aigües superficials experimenta un ascens bruscat i sobtat que només es pot entendre per l'acció antropogènica. Durant l'estiu moltes urbanitzacions i poblacions del litoral veuen incrementada la seva població de manera exponencial, de manera que poden arribar a quadruplicar o quintuplicar la seva població habitual durant la resta de l'any. En aquestes circumstàncies, els sistemes de clavegueram i depuració sovint es veuen absolutament desbordats, són incapaços d'assumir tota la demanda generada i provoquen que gran part de les aigües residuals, molt riques en matèria orgànica i nutrients, s'aboqui directament al mar sense cap tractament. Aquesta entrada sobtada de nutrients es produeix en un moment, com hem dit abans, de baixíssima activitat productiva i amb les poblacions fitoplànctòniques molt minvades, de manera que unes poques espècies oportunistes, de rapidíssim creixement i elevadíssima taxa reproductiva, aprofiten aquest context per provocar una explosió sobtada de la seva població, desplacen competitivament a totes les altres espècies i provoquen així les conegudes com a marees vermelles ([aquí s'ha d'incloure el link a l'apartat de les marees vermelles](#))

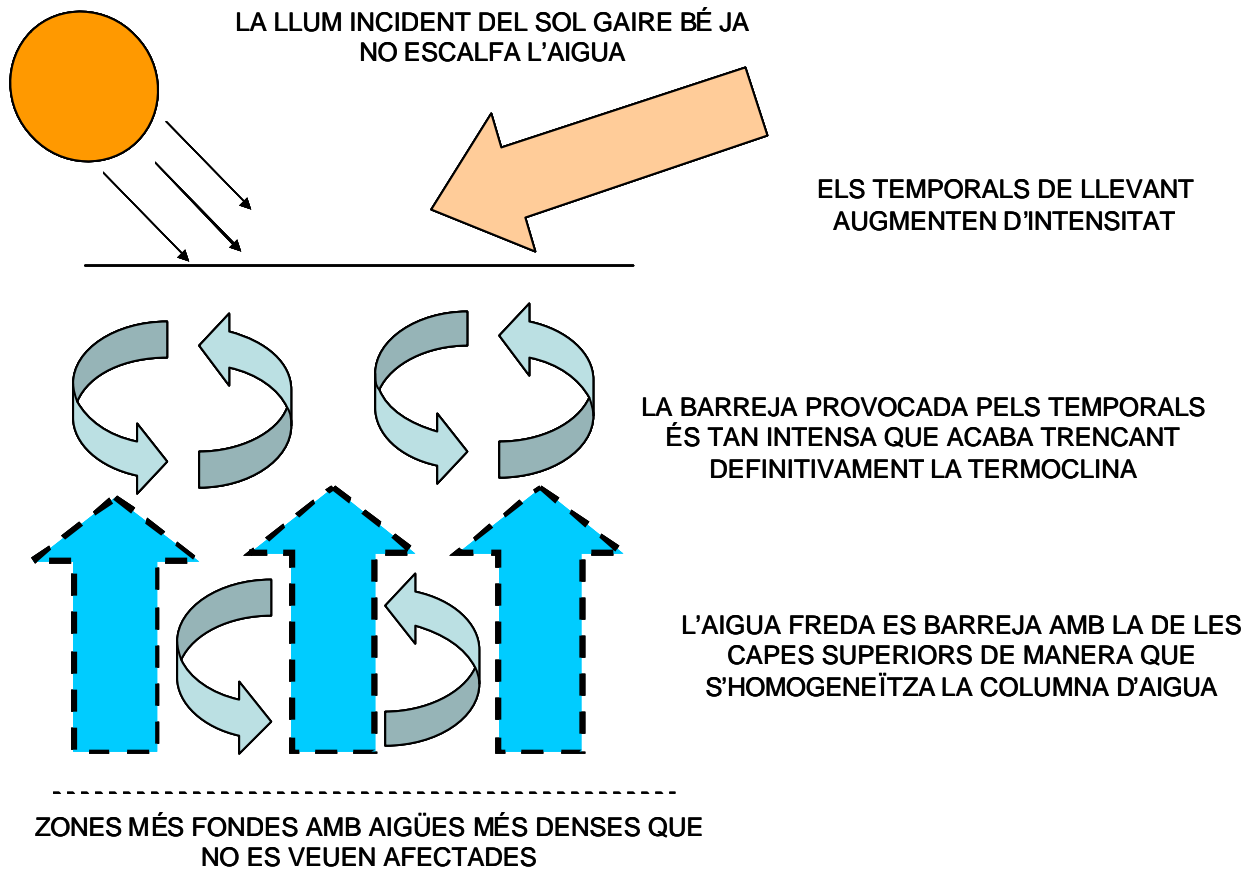
Durant la tardor acostumem a trobar-nos amb dos períodes ben diferenciats. Al seu inici, com ja passava a les darreries de l'estiu, els dies es continuen escurçant, les temperatures es comencen a suavitzar i, a la vegada, es produeixen tempestes de baixa i mitjana intensitat. Aquest descens en la duració i intensitat de la radiació solar provoca que la temperatura de l'aigua iniciï un cert refredament. Aquesta situació recorda la que hem explicat que ens trobàvem a l'hivern, però ara hi ha una diferència important: el nou règim de tempestes de mitjana intensitat provoca una forta barreja de la columna d'aigua per sobre de la termoclina, de manera que no s'arriben a produir les cèl·lules de convecció, tan pròpies de l'època hivernal. A més, tot i que la seva intensitat no permet el trencament definitiu de la termoclina, sí que tenen lloc trencaments temporals que permeten, abans no es recuperi l'equilibri, una barreja de l'aigua inferior més freda amb la superior més calenta. Aquests trencaments temporals fan que la columna d'aigua es refredi progressivament i que la termoclina es vagi aprofundint de manera que, cap a finals d'octubre, la podem trobar a fondàries molt per sota dels 50 metres.

Però a mesura que avança la tardor, els règims de tempestes augmenten d'intensitat i els temporals de llevant, molt energètics, remouen la columna d'aigua amb tanta intensitat que els trencaments de la termoclina, que abans podien recuperar l'equilibri, són ara definitius, cosa que provoca una barreja i el refredament definitiu de tota la columna d'aigua. D'aquesta manera s'arriba a una situació gairebé d'homogeneïtzació total de la columna d'aigua, amb temperatures que van baixant a mesura que avança la tardor, fet que ens acosta a la situació que teníem a principis d'hivern descrita a l'inici de l'explicació del cicle anual de la columna d'aigua.

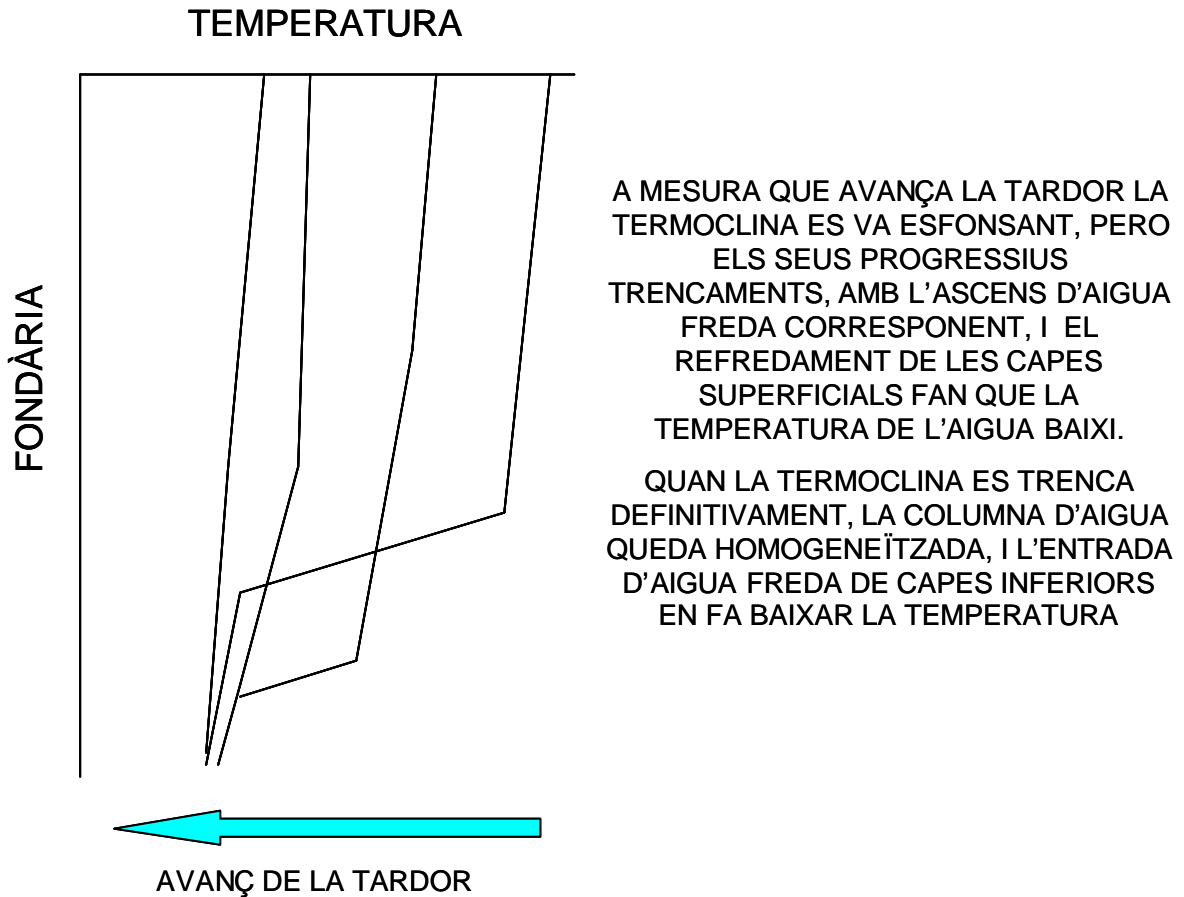
SITUACIÓ 10 – L'arribada de règims energètics d'intensitat moderada afavoreixen el refredament de les capes superiors de la columna d'aigua i trencaments temporals de la termoclina



SITACIÓ 11 – El règim de vents i tempestes, cada cop de més intensitat, trenquen definitivament la termoclina i provoquen així l'entrada i la barreja de l'aigua freda que hi havia per sota de la termoclina i l'homogeneïtzació de la columna d'aigua



SITUACIÓ 12 – A mesura que avança la tardor les temperatures superficials van baixant mentre que la termoclina va guanyant fondària. Quan finalment la termoclina es trenca definitivament, l'homogeneïtzació de la columna d'aigua és total i retornem al punt de partida inicial que teníem entre finals de tardor i principis d'hivern



Respecte a la part ecològica, hem de recordar com havíem acabat l'estiu. Ens trobàvem en una situació en què la concentració de nutrients era molt baixa i, per tant, la producció a les darreries d'aquella estació era molt escassa.

La tardor és una època complexa en què és molt difícil fer generalitzacions sobre el comportament de les poblacions fitoplanctòniques. Aquest comportament depèn, sobretot, dels processos de trencament de la termoclina, amb el consegüent ascens d'aigües fredes inferiors amb altes concentracions de nutrients. Aquests trencaments, a la vegada, vénen determinats pels règims de tempestes, que poden variar molt d'un any per l'altre.

Així doncs, la tardor s'inicia com una continuació de l'estiu fins que comencen a aparèixer les primeres tempestes. Aquestes comencen a agitar fortament la columna d'aigua, provoquen trencaments parcials de la termoclina, aigües fredes i riques en nutrients pugen cap a capes superiors, i es reactiva així la producció fitoplanctònica. A mesura que avancen les setmanes els temporals es van intensificant i, per tant, també s'incrementa la concentració de nutrients a les capes més superficials. Les poblacions de fitoplàncton i zooplàncton continuen amb un creixement important.

Quan finalment la termoclina es trenca de manera definitiva, la barreja de les aigües més fones, fredes i riques en nutrients amb les més superficials homogeneïtza quasi del

tot la columna d'aigua i té lloc l'anomenat *pic de producció de tardor*, una explosió en les taxes de producció primària dels organismes fitoplanctònics, amb el corresponent creixement descontrolat de les seves poblacions i, de manera acoblada i amb cert retard, també de les poblacions de zooplàncton.

Després del pic de primavera, aquest és el segon gran pic de producció de l'any, i, tot i que normalment la producció en aquesta època és més baixa que a la primavera, excepcionalment, la pot arribar a superar.

Òbviament tot el que s'ha explicat en aquest apartat està fet d'una manera molt general i resumida. Les condicions meteorològiques any rere any són diferents i això fa que moltes de les explicacions s'hagin de matisar o adequar a les condicions que hi hagi a cada moment. De la mateixa manera, les condicions locals de cada zona condicionen enormement la dinàmica de les poblacions planctòniques, de manera que podem trobar zones on el que s'ha explicat sigui perfectament vàlid, d'altres on ho sigui a mitges o s'hagin d'introduir modificacions en el model descrit per ajustar-lo i, fins i tot, algunes on no es compleixi.

És convenient, doncs, entendre aquesta petita guia com això mateix, una guia, vàlida de manera general per fer-nos una idea de com funciona la columna d'aigua al llarg d'un any, però amb el benentès que, igual que serveix de manera global, en molts casos les condicions locals de cada zona faran que per apropar-se a la realitat s'hagi de modificar.