

Les plantes i la respiració: una gran errada conceptual

Ferran Aparici Monfort*

1. L'anècdota i els orígens

Són les 10 de la nit. Passadís de maternitat de qualsevol hospital. A la vora de totes les portes hi ha rams i centres de flors.

Per què estan eixes flors i plantes fora de l'habitació, amb perill de que les furtin, en compte d'estar davant del llit per alegrar la vista? Sens dubte, per la creença popular, i errònia, que les plantes per la nit vicien l'aire i és perillós tenir-les en un lloc tancat. Aquesta fal·làcia es deguda a una idea errònia de la *fotosíntesi*.

La *fotosíntesi* és un concepte que, al llarg dels anys de docència, hem pogut comprovar que es resisteix a la comprensió, tot i que no és l'únic (hi ha altres errades conceptuals de les qual en parlarem en una altra ocasió). En el cas de la fotosíntesi i la respiració de les plantes podem observar que hi ha diverses casuístiques:

Hi ha alumnes que pensen que la fotosíntesi és «com una forma de respiració rara de les plantes» que consisteix a respirar durant el dia el diòxid de carboni i durant la nit, l'oxigen, la qual cosa és una barbaritat.

Però el més habitual, i més greu encara, és creure que les plantes de dia són bones, perquè fan la fotosíntesi (agafen CO_2 i expulsen O_2), i per la nit són molt roïnes, per que respiren (consumeixen l' O_2 i expulsen CO_2). És per aquest motiu que se sol pensar que, si tenim les plantes de nit a l'habitació, ens esgotaran l'oxigen i acabarem asfixiats. Amb *bona lògica*, per tant, cal tenir-les el més lluny possible del dormitori per evitar que una nit qualsevol ens provoquen la mort, cosa que ningú vol que passe, i menys en una maternitat.

Davant d'aquesta percepció, podem raonar de la forma següent:

1. Les portes i finestres de les habitacions no són hermètiques (vivim en cases, no en submarins) i, per tant, entra i ix aire per totes les juntes. De fet, podem dor-

* Llicenciat en Ciències Biològiques i professor a l'IES Francesc Ribalta.

Ribalta. *Quaderns d'aplicació didàctica i investigació*, núm. 16 (desembre 2009), ps. 151-157.

© IES Francesc Ribalta · Castelló de la Plana · ISBN: 978-84-692-8275-5.

<http://www.iesribalta.net/revista>

mir tota la nit amb totes les portes i finestres tancades sense morir-nos.

2. Les plantes estan vives i, com tots els éssers vius, respiren. Respiren com nosaltres, de dia i de nit, durant les 24 hores. Agafen oxigen de l'aire i expulsen diòxid de carboni. Ara bé, durant les hores de llum, a més de respirar, fan la fotosíntesi. Amb CO_2 i aigua sintetitzen glúcids i expulsen oxigen a l'atmosfera. I, el que és més important, el balanç entre el consum i la producció d'oxigen és favorable a aquesta última.

3. O siga, que sí, efectivament, les plantes respiren per la nit, però molta gent dorm amb altres persones (marit, muller, germà o germana o, fins i tot, una companyia de soldats) i no es mor ningú per això (encara que és més perillós dormir amb persones o animals que no pas amb una planta, perquè, com que pesem més, consumeixen més oxigen).

4. Moltes plantes (els vegetals, en general, i sobretot les flors) produeixen substàncies aromàtiques més o menys agradables. Mentre que els companys o companyes de dormitori solen ser posseïdors, si em permeteu l'acudit, d'un altre tipus de plantes (no vegetals) productores d'aromes bastant menys agradables, especialment si han estat tot el dia tancades dins les sabatilles *Adidas tufillo*, a les quals es pot afegir el flaïre d'altres emanacions procedents de les fermentacions bacterianes del tub digestiu. I, amb tot i això, no ens morim i ni tant sols ens fem d'un color blavenc.

A les aules, aquest darrer raonament sol anar acompanyat de somriures o de riures estridents, la qual cosa és un perill, perquè, de vegades, se'n recorden més de l'anècdota que del concepte. Però, com és va originar aquesta idea *errònia*?

Possiblement l'origen d'aquest concepte erroni estiga en el descobriment de la fotosíntesi. El 1775, Joseph Priestley (1733-1804) va presentar a la Royal Society de Londres un treball en la qual explicava que les plantes *milloren* l'aire (per als animals). En l'experiència, va demostrar que els vegetals desprenen una petita quantitat d'aire desflogisticat (oxigen) quan reben llum del Sol. La tècnica d'experimentació consistia en la col·locació de diverses plantes en una campana de vidre, exposades a la llum, i en l'anàlisi posterior de la composició de l'aire de la campana.

El 1779, el metge holandès Ingen-Houz va trobar que las plantes verdes vicien l'aire, tant en la llum com en l'obscuritat, igual que els animals, però que en l'il·luminar-les la llum del sol l'allibera de l'aire desflogisticat (oxigen) excedeix el que consumeixen. Va concloure que durant el dia milloren l'aire, mentre que durant la nit el vicien i aquesta idea, que es va mantenir al llarg del anys, es troba, possiblement, en l'origen d'aquesta monumental errada conceptual. Més tard, el 1796, immediatament després del descobriment del CO_2 per Senebier, pensà que aquest gas podria ser la font de la nutrició de les plantes.

Però el primer a comprovar que una planta verda pot viure amb el CO_2 com a font de carboni i que, a més, allibera oxigen en el procés, fou el suís Saussure el 1804, quan publicà un treball en el qual demostrava que el pes de matèria orgànica i de l'oxigen produït durant la fotosíntesi era major que el de l'*aire fixat* (l'anhídrid carbònic consumit) i que en aquest reacció intervenia també l'aigua.

2. Què és la fotosíntesi?

Etimològicament, fotosíntesi significa 'síntesis amb ajuda de la llum'. En realitat, consisteix en un conjunt de reaccions en el quals les plantes sintetitzen la matèria orgànica i, com a residu, alliberen l'oxigen de l'aigua. És un procés d'oxidoreducció en què un donador d'electrons, l'aigua, s'oxida i un acceptor, l'anhidrid carbònic o un altre compost com el sulfat o el nitrat, es redueix.

La fotosíntesi és important per diverses raons, la més aparent de les quals, i la més important, és que mitjançant la fotosíntesi es produeixen els aliments i l'oxigen que consumim. Tanmateix, el fet fonamental és la captació d'energia lluminosa i la seva transformació en energia química.

Sense ànim d'aprofundir en els aspectes bioquímics d'aquest important procés per a la vida, es podria resumir de la següent forma:

La fotosíntesi és un procés en virtut del qual els organismes amb clorofil·la, com ara les plantes verdes, les algues i alguns bacteris, capturen energia en forma de llum i la transformen en energia química. Pràcticament tota l'energia que consumeix la vida de la biosfera terrestre –la zona del planeta en la qual hi ha vida– procedeix de la fotosíntesi.

La llum constitueix, en última instància, la font d'energia que manté la vida sobre la Terra. La biosfera forma un sistema termodinàmic tancat: no intercanvia matèria amb l'exterior, però sí energia. Aquesta energia rebuda del Sol resulta essencial per a la dinàmica geològica i, sobretot, per a la dinàmica biològica del planeta.

Mitjançant la fotosíntesi, un procés universal i únic, els organismes fotòtrofs absorbeixen i fixen una petita fracció, la llum visible, de l'energia solar que arriba a la Terra. Les radiacions de l'infraroig i de l'ultraviolat els permet obtenir informació de l'entorn, com ara saber l'època de l'any.

Gràcies a aquesta capacitat per absorbir i fixar l'energia de la llum, els organismes fotòtrofs estan a la base d'altres sistemes biològics. Les plantes i els seus avantpassats han fundat i han fet possible el posterior desenvolupament d'altres formes de vida, inclòs el regne animal.

L'equació generalitzada de la fotosíntesi és la següent:



On H_2A representa un compost oxidable, és a dir, un compost del qual es poden extraure electrons, CH_2O representa el glúcid format com a producte final de la fotosíntesi i A_2 és la forma oxidada del donant d'electrons. A partir d'aquesta equació general, podem trobar diferents variants

Tots els organismes fotosintètics excepte alguns bacteris, utilitzen l'aigua com a donador d'electrons o d'hidrogen per a reduir diversos acceptors electrònics, alliberant-se oxigen. El producte oxidat de la reacció és l'oxigen, que s'allibera a l'atmosfera

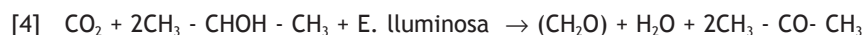


Els bacteris fotosintètics normalment no produeixen ni utilitzen l'oxigen, ja que, en realitat, la major part són anaerobis estrictes i s'enverinen en presència d'oxigen. En compte de l'aigua, aquests organismes empen altres compostos com a donadors electrònics. Els bacteris verds i els bacteris purpuris del sofre, per exemple, utilitzen el sulfur d'hidrogen H_2S , segons l'equació:



El sofre elemental format es diposita en forma de glòbuls, que són acumulats a la cèl·lula o expulsats a l'exterior.

Alguns bacteris purpuris no sulfurades empen un compost orgànic com a donador d'electrons i hidrogen, com ara l'isopropanol que es oxidat a acetona:



3. Com es produeix la fotosíntesi?

La fotosíntesi es realitza en dues etapes. Durant la primera fase, o fase lluminosa, d'aquesta cadena fotosintètica es produeix la transducció d'energia lluminosa en energia electroquímica. Després, en la fase obscura, anomenada així perquè es pensava que no li calia la llum per a realitzar-se, malgrat que depèn també de la llum, per a regular l'expressió i l'activitat d'alguns enzims, s'assimilen els nutrients inorgànics, sobretot el CO_2 atmosfèric, que s'incorporen a la matèria orgànica cel·lular.

3.1. Fase lluminosa

La fotosíntesi comprén una seqüència de processos bioquímics que comencen pels complexos de pigments i proteïnes (clorofil·la, carotens, xantofil·les) que actuen a manera d'antenes recol·lectores que absorbeixen la llum.

L'energia del Sol, en forma de fotons, excita un electró de l'àtom de Mg que es troba al centre de la molècula de clorofil·la i aquest electró amb l'excés d'energia, aportada pel fotó del Sol, s'escapa de l'àtom de Mg i és capturat per un conjunt d'enzims que, després d'un recorregut més o menys llarg, el tornaran al Mg. Però en el camí eixa energia, en una mena de cascada de reaccions redox (oxidació-reducció), s'empra per a sintetitzar ATP (Trifosfat d'Adenosina) i NADPH⁺ (Fosfat del Dinucleòtid de Nicotinamina i Adenosina), que emmagatzem, respectivament, l'energia química i el poder reductor per a fixar el CO_2 a la matèria orgànica

Per a la realització i regulació de les dues etapes fotosintètiques hi ha dos complexos multienzimàtics claus: el fotosistema I amb l'enzim rubisco (Ribulosa-1,5-

bifosfat carboxilasa/oxidasa), encarregat de l'assimilació del carboni, i el fotosistema II (aigua-quinona oxidoreductasa), que s'ocupa de la fotòlisi de l'aigua i produeix, a més, oxigen (O_2), que s'allibera després a l'atmosfera.

La energia lluminosa és atrapada primer en el fotosistema II. Els electrons carregats d'energia salten a un receptor d'electrons i el buit que deixen es reemplaça en el fotosistema II per electrons procedents de les molècules d'aigua, que ha tingut una fotòlisi, en una reacció acompanyada de l'alliberament d'oxigen. Els electrons carregats d'energia recorren la cadena de transport d'electrons que els porta al fotosistema I i durant aquest trajecte es genera ATP. La llum absorbida per el fotosistema I origina electrons energètics que són capturats per una altra cadena de transport que els transfereix al coenzim NADP que, com a conseqüència, se redueix a NADPH₂. Els electrons perduts pel fotosistema I són substituïts pels enviats per la cadena de transport d'electrons del fotosistema II, és a dir per electrons de l'aigua.

En resum, la reacció en presència de llum origina molècules energètiques, ATP, i molècules reductores, NADPH₂.

3.2. Fase obscura

Per últim, mitjançant una sèrie de reaccions en cadena, se sintetitzen noves biomolècules necessàries per al manteniment i creixement de la planta.

En aquesta fase l'energia emmagatzemada en forma de ATP i NADPH₂ s'usa per a reduir el diòxid de carboni a carboni orgànic. Aquesta funció es realitza mitjançant una sèrie de reaccions que formen el cicle de Calvin, activades per l'energia de l'ATP y NADPH₂. En aquest cicle, entra una molècula de CO_2 , i s'uneix amb un sucre de cinc carbonis la ribulosa 1,5-difosfat, la qual s'escindeix formant dues molècules de tres carbonis el gliceraldehid 3-fosfat. Cada tres voltes del cicle, en cadascuna de les quals es consumeix una molècula de CO_2 , dos de NADPH₂ i tres de ATP, renten una molècula de gliceraldehid 3-fosfato. Posteriorment, dues d'aquestes molècules es combinen para formar la glucosa, amb sis carbonis. En cada recorregut del cicle, es regenera la ribulosa 1,5-difosfato.

Hi ha també altres variants d'aquesta fase en les quals es redueixen altres compost inorgànics, com ara el nitrats o els fosfats, imprescindibles per a la producció d'aminoàcids i nucleòtids, tot i utilitzant també l'energia i el potencial reductor obtinguts en la fase lluminosa.

4. Quan aparegué la fotosíntesi?

La fotosíntesi és un procés biològic molt antic, que aparegué fa uns 3500 milions d'anys. La utilització de l'energia lumínica per a produir molècules orgàniques es va originar en bacteris antics, similars als sulfobacteris verds que hi ha en l'actualitat.

Al principi, va aparèixer el fotosistema I que emprava un pigment verd anomenat bacterioclorofil·la per a captar l'energia lumínica i només generava ATP, a partir de l'energia lluminosa del Sol a través d'un procés anomenat *fosforilació cíclica*,

ja que els electrons eixien del Mg i hi tornaven posteriorment. Era una fotosíntesi anoxigènica, realitzada per fotòtrofs anaerobis en els fons sedimentaris de mars somers, al principi de l'eó Arcaic. Es tractava d'un procés lent i d'escassa producció de biomassa, ja que li arribava poca llum i emprava com a font d'electrons composts reduïts poc abundants (H_2S , H_2 o Fe_2+)

Fa uns 3100 milions d'anys aparegué un grup de procariotes, els dels cianobacteris o bacteris blaus. Aquests antics organismes, similars als cianobacteris actuals formadors d'estromatòlits, van desenvolupar un procés de fotosíntesi semblant al dels eucariotes fotosintètics, incloses les plantes. Posseeixen un nou tipus, més eficient, de clorofil·la en compte de bacterioclorigil·la i un segon fotosistema, el II, capaç de produir la fotòlisi de l'aigua i, per tant, la capacitat d'obtenir compostos reductors per a sintetitzar molècules de glúcids a partir del diòxid de carboni. Com a conseqüència de la ruptura de la molècula d'aigua, s'allibera, com a residu, l'oxigen molecular O_2 .

5. Conseqüències de la fotosíntesi

L'oxigen atmosfèric s'incrementà des de fa uns 3000 milions d'anys, fruit de l'activitat fotosintètica. Però fins fa un 2000 ma. no s'acumulà a l'atmosfera, per que primer va reaccionar amb el Fe^{+2} dels oceans formant enormes cúmuls d'òxids de ferro. Això es sap per que a partir d'eixa època es troben roques sedimentàries riques en hematites (Fe_2O_3). La qual cosa ens ha permet obtenir magnífiques mines de ferro. Fins que no s'esgotà el Fe oceànic, no s'acumula a l'atmosfera. La seva concentració augmentà de manera dràstica fa uns 600 milions anys, la qual cosa produí la formació de la capa d'ozó i possibilità la colonització dels continents.

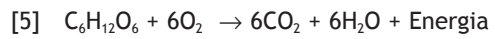
Però abans d'això, l'alliberament de l'oxigen va representar la major contaminació atmosfèrica de la història de la Terra. Es va canviar completament l'ambient i el curs de l'evolució. L'oxigen fou, en un principi, tòxic per a les cèl·lules, ja que és molt oxidant i, per tant, destructor de la matèria orgànica.

Alguns organismes de l'època es refugiaren en zones allunyades i protegides de l'oxigen, on romanen encara com a bacteris anaerobis. Tanmateix, amb el pas del temps, la majoria dels organismes evolucionaren cap a la capacitat de tolerar i, fins i tot d'usar, aquest contaminant en la respiració cel·lular.

Podríem dir que els organismes van adoptar la vella dita que afirma que si no pots guanyar l'enemic, es millor unir-se amb ell. O aquella altra que diu que si la muntanya no va a Mahoma, Mahoma va a la muntanya (i, a més, la urbanitza i la ven a parcel·les i en trau un guany substancial).

I és així, perquè la respiració aeròbica origina molta més energia a partir dels glúcids que els processos fermentatius, apareguts fa uns 2.500 milions d'anys. En aquest procés oxidatiu, l'oxigen s'usa per a cremar (oxidar) la glucosa mitjançant una sèrie de reaccions (glucòlisi, cicle de Krebs i cadena de transport d'electrons) L'energia dels enllaços químics, prèviament obtinguts per la fotosíntesi, serveix per a que les cèl·lules fabriquen ATP, que serà utilitzat on i quan es necessita. De mane-

ra esquemàtica, en el cas de la glucosa, podríem representar la següent reacció estequiomètrica:



Com es pot observar, aquesta reacció és, justament, la contrària de la fotosíntesi amb l'aigua com a subministrador d'electrons (2)

Actualment la immensa majoria dels organismes no sols usem l'oxigen, sinó que ens morim si no el tenim. I tot gràcies a la fosotíntesi.

Bibliografia

- Arellano, J.B. i J. de las Rivas (2006): «Plantas y cambio climático», *Investigación y ciencia*, 354, 42-50.
- Cid, F. (1980): «El nacimiento de la química», dins Cid, F. (coord.): *Historia de la Ciencia*, 3 vol., Edad Moderna I, Barcelona, Planeta, 18-21.
- Lehninger, A. (1979): «Bioquímica», Barcelona, Omega, 603-610.
- Strasburger, E. (1974): «Tratado de Botánica», Barcelona, Marín, 227-238.
- Barcelo Coll, J. (2001): «Fisiología Vegetal», Madrid, Pirámide, 141-225.
- Devlin, R.M. (1982): «Fisiología Vegetal», Barcelona, Omega, 189-194.
- Paniagua, R. i altres (1999): *Biología Celular*, Madrid, McGraw-Hill, 226-234.