

Bioremediem els nostres problemes

Albert Sabater Barragan



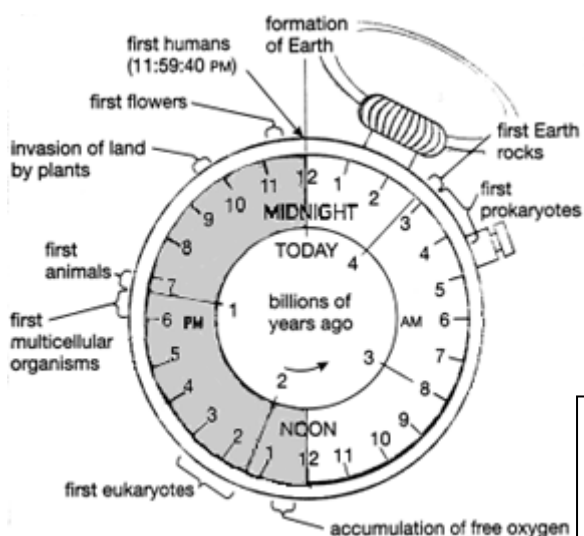
A la facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona podem trobar un petit grup de recerca consolidat per la Generalitat dedicat a abordar els problemes ocasionats per agents contaminants. Liderat per la doctora Magdalena Grifoll, el grup de Bioremediació i Biodegradació porta a terme la seva tasca investigant per descobrir microorganismes que degraden hidrocarburs nocius per al medi ambient i descrivint els compostos que es produeixen durant aquest procés. A més, també actuen oferint serveis a empreses que vulguin solucionar el problema de la contaminació en els seus propis terrenys.

Vivim en un món especial

El nostre planeta és especial. Aquesta afirmació no es deu a un simple rampell d'egocentrisme, sinó que fa referència al significat genuí de la paraula especial. Encara que hi hagi molts altres cossos celestes amb capacitat d'albergar vida, i encara avui el nombre de candidats segueix augmentant ostensiblement, la Terra és l'únic planeta conegut que conté vida. Durant milers de milions d'anys, incomptables éssers vius han estat coexistint, evolucionant, donant lloc a espècies més complexes i deixant una petita empremta que permetia identificar el seu pas. Així, ara podem conèixer l'existència d'organismes que, tot i extingir-se fa eres, van exercir un rol extremadament important, teixint els fils que formen el nostre passat i van permetre així que la vida sigui com la coneixem actualment.

Avui en dia, aquest llegat continua prevalent. El món en què vivim és el resultat de més de 3.500 milions d'anys de processos evolutius que s'aturaran en el moment en què tota forma de vida hagi arribat inevitablement a la seva fi. Conscientment o inconscientment, tots els éssers vius que habitem en aquest gran planeta també deixem la nostra empremta per deixar clar que hem existit en un moment donat. No obstant això, si hi ha una espècie, entre totes les que conviuen, que més interès ha posat a destacar-se per sobre de les altres, aquesta seria sens dubte l'ésser humà.

Si comprimíssim la història de la Terra en un rellotge de 24 hores, ens trobaríem amb què els humans no van aparèixer fins molt tard. Si es comencés amb la mateixa formació de la Terra, fins les 4 hores no apareixeria la primera forma de vida. A les 6 hores van sorgir els primers organismes fotosintètics, mentre que no seria fins les 16 hores que les cèl·lules amb nucli farien acte de presència. Si volem veure com les plantes envaeixen terra ferma, hauríem d'esperar fins les 22 hores. ¿I els humans? **El primer humà naixeria al voltant de les 23:59:30 hores.** En efecte, tota la nostra història es resumeix en 30 segons, incloent la part en la qual ni tan sols existien poblacions assentades. Si només volguéssim comptar a partir de la revolució industrial, punt en el qual la humanitat va encadenar progrés rere progrés, amb prou feines disposaríem d'uns pocs segons.



Imatge 1. (<http://www.counterbalance.org>) Història dels aproximadament 4.500 milions d'anys de la Terra comprimida en 24 hores.

En el fons, tampoc hem estat habitant aquest món durant tant de temps com semblen creure, ni tampoc som l'única espècie que resideix en aquest, ni tampoc som la més important. Sí és cert que en conjunt hem aconseguit fites impressionants: hem colonitzat gairebé qualsevol racó del planeta, hem aconseguit viure en els hàbitats més inhòspits, hem modelat l'entorn al nostre confort, som capaços de recórrer llargues distàncies amb més rapidesa que el més veloç dels animals, podem solcar el cel com qualsevol ésser volador tot i no comptar amb ales pròpies, hem aconseguit viatjar fora del planeta en què vivim i navegar a través de l'espai exterior. Totes aquestes proeses han estat dutes a terme mitjançant el coneixement que s'ha anat transmetent de generació en generació, ampliant-lo i podent així avançar com a espècie. La curiositat és un dels principals motors que empenyen l'ésser humà a actuar i a descobrir el que romanía sota l'halo de la ignorància. Si no hagués estat per la curiositat i per la capacitat de raciocini, difícilment tindriem coratge de autoproclamar-nos l'espècie dominant del planeta, tot i ser molt vulnerables com a individus.

No obstant això, tot progrés té el seu preu. Per molt que les accions hagin estat fetes en favor d'un bé major, hi ha hagut conseqüències. L'empremta que ha deixat l'ésser humà és, sense cap mena de dubte, molt profunda tot i la brevetat de la nostra existència. Una marca indeleble que difícilment es diluirà amb el pas del temps. Grans extensions de boscos que desapareixen per donar lloc a ciutats. Uns mars menys poblats causa d'una intensa activitat pesquera. Ecosistemes sencers que es veuen en perill a causa de la caça. Paratges alterats a causa de l'obtenció de recursos. Aquesta és l'altra cara de la moneda del progrés. Per molts avenços que s'hagin donat, sempre hi hauran conseqüències negatives que s'hi deriven fins que no aprenem a resoldre-ho eficaçment.

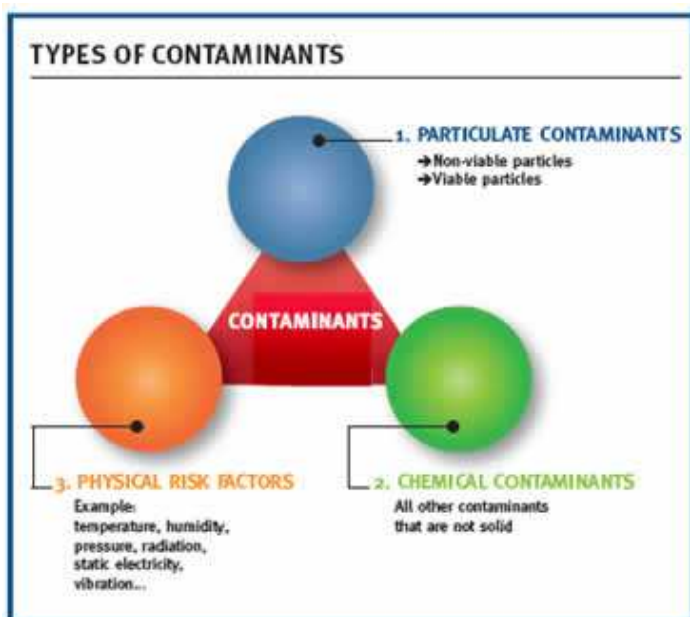
Un dels grans problemes han sorgit és precisament la **contaminació**. Usualment, aquesta se sol definir com "la introducció de substàncies en un medi que provoca que aquest sigui insegur o no apte per al seu ús". L'agent contaminant pot ser una **substància química** o pot ser **energètica**, com ara la mateixa llum (contaminació lumínica) o radioactivitat. Representa sempre una alteració negativa de l'estat natural del medi i, en general, es genera sempre per l'activitat humana. No resulta una afirmació pretensiosa creure que la humanitat és especial en un món especial si és capaç de modificar l'entorn al seu gust tot i havent tots els efectes col·laterals que se'n deriven.

No obstant això, no tot és tan negatiu com sembla. És cert que el nostre planeta no passa pels seus millors moments, però no ens quedem amb els braços creuats. Busquem solucions a aquests problemes pràcticament sense descans perquè en principi volem deixar alguna cosa més que un llegat ruïnós als que encara estan per arribar. De fet, molts d'aquests contratemps no existirien si la major part de l'energia no l'obtinguéssim dels combustibles fòssils. Les indústries suposen una inconveniència important: són un motor important del nostre desenvolupament que depenen enormement d'aquesta font d'energia, però han ocasionat seriosos problemes com ara l'emissió de gasos d'efecte hivernacle. Per si fos poc, l'atmosfera no és l'única que es veu afectada, sinó que el sòl sobre la qual s'assenta l'edifici també està perjudicat a causa dels residus que es produeixen. Si bé els perjudicis de la contaminació atmosfèrica són àmpliament coneguts, els del sòl estan relativament menys divulgats. I no es

tracta dels causats per abocaments sinó per compostos produïts arran d'una transformació d'aquests combustibles.

Bioremediació

La bioremediació va sorgir com una proposta per netejar les zones contaminades a causa de l'acció de les indústries. Encara que l'ús dels combustibles fòssils sigui el representant més significatiu de contaminació en general, no es tracta de l'únic que contribueix a malmetre el medi ambient. Existeixen molts altres agents que col·laboren en aquesta tasca tan negativa i poden ser igual de nocius: l'arsènic, el crom, les dioxines, el mercuri, el perclorat, compostos aromàtics ... És una extensa llista de compostos amb aplicacions diverses en el món industrial que van des de la producció d'insecticides fins a dissolvents passant per la manufactura de molts altres materials. Encara que molts d'aquests hagin estat produïts artificialment, com és el cas de les dioxines, crida l'atenció que la resta, naturals, suposin un risc per a l'entorn. La raó és simple: si bé en una situació normal no trobaríem una aglomeració d'arsènic o de crom, això canvia en un sòl industrial, ja que en aquestes zones es tendeixen a acumular aquests elements a causa de que en els processos que es duen a terme es necessiten (o es produeixen, si no) pel seu correcte funcionament.



Imatge 2.

(<http://contaminationcontrol.dpp-europe.com>) Tipus de contaminants. Tot i que ens centrem en els agents químics, hi ha uns altres que poden perjudicar igualment l'ecosistema.

Com a resposta a la esmentada varietat de contaminants, hi ha una igual quantitat de mètodes emprats per a l'eliminació d'aquests compostos. Cadascun és més o menys eficaç, i pot resoldre el problema definitivament o ajornar-lo durant un cert temps. Per exemple, si tenim un sòl contaminat, podem utilitzar un mètode de volatilització per extreure el material, fer servir algun tipus de dissolvent que deixi poques o nul·les seqüeles o, si és viable, excavar el terreny afectat i traslladar-lo a un altre lloc. D'aquesta última manera, la zona original ja no estaria afectada.

La bioremediació, però, no fa servir aquests procediments físics per desfer-se d'aquests agents contaminants. Generalment són més difícils d'utilitzar, més cars i comporten més temps. En el seu lloc, aprofita l'activitat metabòlica de petits microorganismes per transformar els

compostos nocius en altres innocuos, si no, més fàcilment assimilables per altres organismes. Efectivament, el que per a una gran majoria representaria una opció inviable, uns pocs són capaços d'agafar aquests compostos perjudicials i fer-los servir com a font d'energia per a les seves pròpies funcions. L'àrea en la qual s'especialitza el grup de la Dra. Grifoll són els **hidrocarburs**, típics contaminants d'un sòl industrial, de manera que ens centrarem en els microorganismes que degraden aquests compostos; però, cal destacar que hi ha d'altres que poden actuar sobre els altres contaminants ja esmentats.

Quan ens referim a microorganismes, en realitat estem descrivint a un grup molt extens en el qual s'enquadren bacteris, arqueobacteris, protozous i una part de les algues i fongs, a més dels virus. Tot i que els bacteris són els que disposen de millors mecanismes per assimilar els contaminants en forma d'hidrocarburs, això no implica que altres espècies microbianes no ho puguin fer, encara que tendeix a ser més rar. De fet, l'usual és que en una zona tinguem una amplíssima varietat de microorganismes i només una petita fracció, si és que existeix, és capaç d'usar hidrocarburs com a font d'energia.

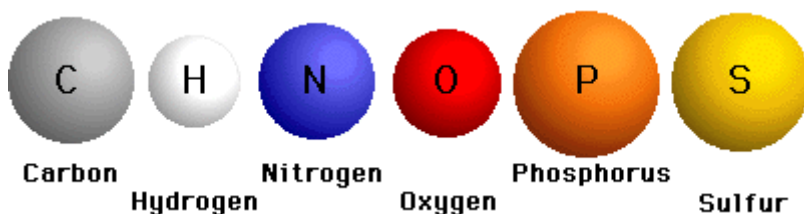
Tenint en compte tot això, quan estem davant d'un terreny contaminat a causa d'una activitat industrial, hi ha dues aproximacions per abordar aquest problema:

- L'anomenada **bioatenuació natural monitoritzada**. Si ens decantem per aquesta opció, hem de caracteritzar molt bé l'entorn afectat per entendre perfectament el tipus de contaminant que està present així com la seva distribució. Això voldrà dir que haurem de saber el tipus de sòl que hi ha, ja que no és el mateix un sòl de terra que de roques; l'afectació en profunditat i el risc per a l'ecosistema en general. Un cop està tot analitzat, es comprova que no hi hagi un risc imminent tot i que d'haver-hi, es faria un confinament, com si es deixés la zona en quarantena.
A continuació es van fer pous per avaluar l'activitat dels microorganismes per tal de demostrar que els microorganismes que resideixen en aquest lloc degraden activament el contaminant. Si no fos així, no podríem optar per la bioatenuació natural. A més, el termini de destrucció ha de ser relativament assequible, ja que no ens podem permetre deixar passar massa temps ja que el risc podria augmentar. La població microbiana present en el medi s'encarregaria de degradar per si mateixa el contaminant present i transformar-los en substàncies innòcues. Farem servir, si s'escau, mètodes físics com els descrits anteriorment per ajudar a l'eliminació dels contaminants. Encara que a priori pugui semblar que la nostra actuació en el terreny és mínima, hi ha una càrrega de treball considerable, ja que cal demostrar que hi ha un procés actiu de degradació i no hi ha risc que el contaminant s'escampi i afecti a la resta de l'ecosistema.
- **Bioremediació dirigida**. Si per contra es requereix una actuació, llavors cal escollir aquesta opció. Al contrari que a l'anterior en què no influïem directament sobre les poblacions microbianes, aquí intentarem estimular-les perquè la proporció de microorganismes capaços de degradar hidrocarburs augmenti i així s'elimini el contaminant amb més eficàcia.

Bioremediació dirigida.

Primerament, hem de tenir present quins són els tipus de nutrients que fem servir per obtenir energia. La classificació més general els reparteix en glúcids o hidrats de carboni; lípids o greixos; i finalment, proteïnes. Hi ha altres components que no es poden enquadrar en les tres categories anteriors perquè les seves característiques difereixen sensiblement. Entre ells, tenim els àcids nucleics com l'ADN i l'ARN, les vitamines i els compostos minerals que els trobem en quantitats ínfimes, com el cobalt, el manganès, el molibdè, seleni, ferro i zinc entre molts altres que estan a una concentració tan diminuta que es consideren pràcticament menyspreables, però vitals perquè l'organisme pugui exercir les seves funcions normals.

Tots els organismes es componen en major o menor mesura d'aquests compostos, des del més petit dels bacteris fins al més gran animal que habita en aquest món. De manera general, es podria dir que els éssers vius es componen majoritàriament de carboni, hidrogen, oxigen, nitrogen, fòsfor i sofre en major mesura, seguits dels elements traça, trobats en menors concentracions, combinant per formar els components esmentats anteriorment.



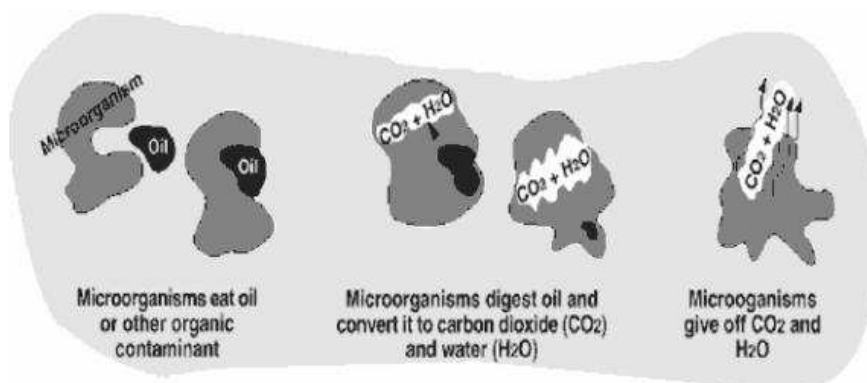
Imatge 3. Principals bioelements que formen la vida. Encara que aquests siguin els majoritaris, hi ha desenes d'elements que es troben a concentracions quasi inapreciables i igualment indispensables.

Però, com incorporen els organismes aquests elements al seu interior? D'on obtenen l'energia necessària per a això? La forma de nodrir-se varia enormement segons l'ésser viu del que parlem. En el nostre cas, el dels humans, tenim clar que per obtenir energia hem d'ingerir aliments, que passaran per un procés de digestió. No obstant això, això no és aplicable per a éssers més petits com els bacteris. Hi ha una grandíssima varietat d'espècies bacterianes, cadascú amb un mecanisme diferent per assimilar nutrients. Hi haurà qui necessiti una font de carboni tradicional com és la glucosa en un ambient amb oxigen, hi haurà qui pugui valer-se només amb aquest glúcid, hi haurà qui faci servir la llum per obtenir energia, d'altres que necessiten més l'àcid sulfhídric, un gas perillós per a nosaltres, els humans. Després, gràcies a aquesta energia obtinguda per un o altre mètode vindrà l'assimilació d'altres nutrients, com aquells rics en nitrogen i fòsfor, per sintetitzar les seves pròpies estructures i poder créixer.

En un sòl normal, trobarem una població bacteriana més o menys variada. Cada espècie captarà els nutrients que pugui i creixerà acord a ells. Probablement disposin de mecanismes per poder captar-los en circumstàncies diverses, però no fan ús d'aquests perquè estan en una situació normal i hospitalària. La relació de **carboni: nitrogen: fòsfor** present en el sòl és la que s'esperaria i per això no sorgeixen problemes.

En un sòl contaminat per hidrocarburs, la situació canvia. La relació de **carboni: nitrogen: fòsfor** es desequilibra completament. Estem en una situació en què hi ha moltíssim carboni disponible respecte a la quantitat de nitrogen i fòsfor. Per si fos poc, no totes les espècies bacterianes presents en aquest sòl són capaços d'assimilar aquesta nova font de carboni, pel que amb prou feines podran créixer amb naturalitat. I si a la vida microbiana se li fa difícil subsistir, la resta d'espècies (fongs, plantes, animals ...) ho tindran impossible. Aquesta zona es converteix en un lloc hostil per viure.

No obstant això, no tot és tan fosc com sembla. En aquesta gran població bacteriana hi pot haver algunes espècies que sí siguin capaços de metabolitzar aquests hidrocarburs, d'obtenir energia a partir d'aquests i així poder créixer. Poden aprofitar aquesta nova situació per imposar-se sobre altres espècies bacterianes que són incapaços d'incorporar aquesta font de carboni tan estranya. Abans, els bacteris degradadors d'hidrocarburs es trobaven en menor proporció ja que estaven especialitzats a degradar llargues cadenes d'aquests compostos mentre que les altres espècies tenien una major habilitat per captar compostos més simples. Ara, els bacteris degradadors d'hidrocarburs poden consumir aquests compostos i reduir la seva concentració fins que les altres espècies siguin capaços de tornar a captar nutrients. Són precisament aquests bacteris de característiques tan particulars la principal eina que empra la bioremediació per intentar descontaminar una zona sobre la qual hi ha hagut activitat industrial.



Imatge 4. (<http://www.egr.msu.edu>) Un microorganisme podrà captar l'agent contaminant, en aquest cas petroli, i degradar-lo perquè la seva concentració disminueixi.

Si les condicions de l'entorn són suficients, llavors es pot deixar actuar a la població microbiana perquè consumeixi aquests hidrocarburs i controlarem com va el procés. Aquesta és la bioatenuació natural que s'havia comentat anteriorment i que pot estar suplerta per mètodes fisicoquímics addicionals a fi d'accelerar una mica el procés. Normalment, això no sol succeir amb la freqüència que desitjaríem, i per això hem de donar una petita empenta als bacteris perquè proliferin.

Els bacteris degradadors d'hidrocarburs necessiten oxigen per poder dur a terme la seva activitat. Per això, el primer pas seria remoure la terra, airejar-la perquè l'oxigen arribi a tots els nivells del sòl i així els bacteris siguin més eficients a l'hora de treballar. Tot i així, falta alguna cosa més. Tots els organismes creixen seguint unes proporcions específiques de

carboni: nitrogen: fòsfor. En el moment, la balança s'ha descompensat completament cap al carboni. Però els bacteris no poden viure només d'això. Les proteïnes estan compostes per nitrogen, els àcids nucleics tenen nitrogen i fòsfor. Cal tot una varietat d'elements més perquè es doni un creixement adequat. És per això que a la bioremediació dirigida s'addicionaran compostos rics en nitrogen i fòsfor, entre d'altres, perquè la proporció carboni: nitrogen: fòsfor estigui més ben compensada.

Es pot donar el cas que la població microbiana no sigui capaç de degradar el contaminant o, en el seu defecte, es troba en una concentració tan baixa que pràcticament no té cap efecte en el terreny. Això pot succeir en llocs molt nets on no hi ha hagut una contaminació prèvia i, per tant, no hi havia hagut l'oportunitat perquè aquests microorganismes hagin aparegut. També pot ser degut a la presència d'un producte tòxic que inhibeix a les poblacions presents.

És en aquests casos en què hauràs d'afegir algun component addicional per accelerar el procés de bioremediació. El **bioforç** consisteix a inocular o afegir microorganismes extra que sí degradin el contaminant a una alta concentració. Aquests microorganismes afegits poden provenir de la mateixa zona afectada, que els has traslladat al laboratori i allà els has multiplicat; o pot ser un grup que no sigui originària del lloc. L'inòcul pot estar format per una única espècie degradadora o per un conjunt, però això ja dependrà del tipus de contaminant que hi hagi a l'entorn. Si bé aquesta és la idea general, hi ha una sèrie de passos que s'han de seguir abans de donar el problema per finalitzat.

Fases de la biorremediació

La bioremediació no la porta a terme una única persona, sinó que es tracta d'un camp interdisciplinari: hidrogeòlegs, químics ambientals, microbiòlegs i enginyers que col·laboren entre sí per intentar descontaminar un terreny. De forma general, un procés de bioremediació seguirà les etapes següents:

- **Recerca del lloc** en relació amb els contaminants i en relació amb el tipus de sòl. S'estudia i analitza l'emplaçament així com la identificació, grau i distribució de la contaminació. El terme "hidrocarbur" abasta molts compostos diferents, i els microorganismes degradadors d'hidrocarburs és un concepte igualment general. Per aquest mateix motiu s'ha de caracteritzar bé la zona contaminada abans de planejar una estratègia adequada.
- **Desenvolupament d'assaigs de tractabilitat** a nivell de laboratori. Aquesta és una etapa que, tot i que representa una part molt petita del cost total, proporciona informació fonamental per la bioremediació i és precisament a la que el grup de Bioremediació de la facultat de Biologia es dedica com un servei que presten a empreses, a més de la seva pròpia tasca d'investigació. Aquí principalment es coneixerà el tipus de poblacions microbianes existents i les seves capacitats metabòliques.
- **Desenvolupament d'assajos a escala pilot.** Un cop tenim una idea de a què ens enfrontem i de què disposem, és hora de dur a terme alguns experiments a petita escala per veure si són realment efectius. No s'aplica directament sobre tota l'extensió de l'àrea afectada perquè, de fallar, la pèrdua de recursos seria considerable.

- **Implantació de la tecnologia escollida.** No tenim una única metodologia, i podem haver contemplat diverses opcions perquè una que funcionava a nivell de laboratori no ho feia a escala completa.

D'aquestes etapes, probablement la dels assaigs de tractabilitat és la que s'ha de fer més èmfasi ja que les probabilitats de que la bioremediació sigui un èxit o no depèn en gran mesura d'aquesta fase. Els assaigs de laboratori tenen dues fases: factibilitat i la tractabilitat pròpiament dita.

En els **assaigs de factibilitat** mirarem si l'emplaçament reuneix les condicions per fer una bioremediació. En el cas que ens ocupa, els hidrocarburs, farem una enumeració de la quantitat d'organismes degradadors. Comptarem llavors la població heteròtrofa total en condicions aeròbies i comptarem els organismes degradadors en un mitjà simple. Si la zona ha estat contaminada per un cru de petroli, a aquest medi li afegirem aquesta mateixa substància. Si l'agent contaminant és un hidrocarbur en concret, al medi li afegirem aquest hidrocarbur. Així veurem la quantitat de microorganismes que degradaran específicament aquest contaminant. Una situació ideal seria que la concentració de bacteris degradadors fos de 10^5 o 10^6 , perquè això implicaria una estimulació més fàcil dels bacteris.

Una prova secundària consisteix en l'anomenada **respirometria**, que consisteix a avaluar l'activitat de la població microbiana de la zona contaminada. Volem veure si aquest sòl podrà respondre a una bioestimulació, és a dir, si es detectarà algun tipus d'activitat si afegim nutrients. Consisteix en una prova ràpida en què es mesura la quantitat de CO₂ que es produeix en el moment de la intervenció. Posem nutrients (en forma de nitrogen i fòsfor, principalment), ajustem la humitat i s'observen quines respostes s'obtenen per determinar així si les poblacions microbianes són estimulables. Un dels tractaments que es duen a terme és l'aplicació de glucosa per veure si hi ha algun inhibidor de l'activitat microbiana. La glucosa és el substrat més fàcilment assimilable pels bacteris i el que faran servir preferentment per obtenir energia. Si el sòl tingués algun material tòxic, la capacitat d'obtenció d'energia es veuria seriosament perjudicada, per això ho hem de comprovar mitjançant aquesta prova. Si s'observa que hi ha una elevada activitat energètica voldrà dir que no hi ha substàncies tòxiques que interfereixin en el procés d'obtenció d'energia. Si també s'observen resultats positius en l'addició de nutrients, sabràs que els microorganismes respondran als nutrients, però això no implica necessàriament que també degradaran el contaminant. Saps que són actius, però no pots estar segur que sigui degut a la destrucció del contaminant.

Els **assaigs de tractabilitat** es corresponen als assaigs de degradació pròpiament dits. Es fan diferents tractaments al laboratori a diferents condicions:

- Nitrogen i fòsfor a concentracions elevades.
- Nitrogen i fòsfor a concentracions baixes.
- Amb un substrat secundari, com per exemple un oli vegetal.
- Amb un inòcul comercial afegit.

Les condicions poden ser molt variades, sobre un medi sòlid per fer-nos millor a la idea del que passa realment, i dependran en gran mesura del que estiguem perseguint. S'observa la

degradació al cap de 15 dies i es discuteix què respon millor. Aquests assajos poden ser tot el sofisticat que un desitgi, però com es tracta d'un servei prestat a empreses, el límit el posaran aquestes.

Aplicant la biorremediació

La teoria de la biorremediació pot resultar molt atractiu per solucionar els nombrosos problemes mediambientals que assalten el nostre entorn. No obstant això, aquesta tecnologia no és la panacea que ho pot resoldre tot, ja que presenta algunes limitacions. El problema principal que comporta la biorremediació és que no se sap fins a quin punt baixaran les concentracions dels contaminants un cop s'ha implantat el mètode a la zona afectada. Això està relacionat amb els **productes recalcitrants**.

Abans es tenia una idea molt ambiciosa pel que feia a la biorremediació. Es perseguia la destrucció completa de l'agent contaminant que posava en risc l'ecosistema. Més tard es va comprendre que això era pràcticament impossible tret que empréssim mètodes dràstics. Quedarien romanents de productes que serien molt difícils d'eliminar mitjançant la biorremediació. Això és a causa dels productes recalcitrants, compostos que són difícilment degradables. Això pot ser degut a que sigui un producte molt estable des del punt de vista químic o que sigui poc accessible per l'organisme degradador. Si aquest mateix compost estigués de forma soluble, flotant a l'aigua, els bacteris sí que ho acabarien degradant. Però si aquest mateix compost s'ha anat introduint en els porus dels sòls o de les roques, serà menys accessible; és a dir, els bacteris no el poden degradar perquè no seran capaços d'arribar fins a aquest.

En aquest cas ens trobarem davant d'un problema. Per a un mateix contaminant es poden donar dues situacions diferents:

-El compost s'ha consumit fins a nivells acceptables per a l'ecosistema.

-El compost, malgrat haver-se degradat, no ho ha fet prou i la seva concentració està per sobre dels valors acceptables.

Això es deu principalment a la disponibilitat del contaminant. En el segon cas és possible que s'hagi infiltrat entre les roques i, a causa d'això, els bacteris no el poden degradar, mentre que a la primera situació el mateix compost era més accessible. És aquesta simple diferència el que pot fer que un experiment de biorremediació sigui un èxit o fracàs. No obstant això, es tracta d'un dels riscos que hauréu d'assumir. En el cas que la descontaminació no hagi tingut èxit, si és completament imprescindible eliminar la contaminació s'hauran d'aplicar altres tractaments, tot i que siguin molt més dràstics. Si ho es massa, a més d'eliminar l'agent contaminant també destruïrem part de l'ecosistema. Tot i així, hi ha ocasions en què no hi ha un altre remei, perquè hi pot haver el risc que el contaminant s'estengui a altres zones, com ara a un riu. En aquests casos es tractaria d'escollir el mal menor per tal d'evitar una catàstrofe.

D'altra banda estan les circumstàncies en què es pot aplicar la biorremediació. És a dir, si bé pot arribar a ser molt efectiva en un terreny ferm com pugui ser un sòl industrial, aquesta eficàcia

es perd quan tractem amb zones més propers a l'aigua o sobre el mateix riu o mar. Aplicar la bioremediació en mars i llacs no tendeix a ser viable perquè al afegir els nutrients, aquests es perden en l'extensió de líquid, diluint. Perquè tingués un veritable impacte, la quantitat de nutrients afegits hauria de ser descomunal, cosa que no sol ser factible. Per tant, davant de desastres mediambientals marins, les úniques possibilitats es redueixen a mètodes físics d'eliminació de l'agent contaminant.

Un bon exemple d'això seria el **cas del Prestige**. Aquest petrolier es va enfonsar davant les costes de Galícia al 2002 amb 77.000 tones de fuel que, en la seva gran majoria, va acabar per banyar més de 2.000 km de costa espanyola i francesa. Va ser una catàstrofe mediambiental en tota regla que va requerir un extens treball de neteja dut a terme per milers de voluntaris. Al principi, aquest seria un escenari ideal per poder dur a terme un projecte de bioremediació. No obstant això, això no seria possible en el propi lloc de l'enfonsament a causa de la dilució dels nutrients en l'entorn marí. En les pròpies ribes de les costes afectades passaria el mateix problema, ja que les onades arrossegarien els compostos afegits. Quan el grup de Bioremediació de la Universitat de Barcelona va dur a terme un projecte de biodegradació a la costa de Galícia es va trobar amb aquest problema. Es tractava d'un fuel molt espès i molt heterogeni que a més arribava a la costa de forma molt compacta, en forma de galetes. Al agafar una mostra, van veure que es donava molt poca degradació en comparació amb l'aportació continua que provenia del mar. Es va decidir prendre mostres de la sorra, sobre la qual el fuel es trobava en solució i les roques de la platja que el fuel havia cobert.



Imatge 5. (<http://www.ecologiaverde.com>) L'enfonsament del Prestige va suposar una de les pitjors tragèdies mediambientals d'Europa. Encara avui es noten les seqüeles de l'accident als ecosistemes de la zona.

Els resultats que van obtenir no van ser significatius, és a dir, ja s'havia produït un descens important de la concentració de fuel malgrat no haver-se aplicat el tractament. Per aquest motiu no es podia dir que la bioremediació fos un èxit, ja que sense l'aportació dels nutrients la quantitat de fuel havia baixat significativament. La millor opció en aquest cas va ser,

malaauradament, seguir utilitzant mètodes físics per eliminar l'agent contaminant que havia causat tants estralls.

Encara que aquesta és la vessant més aplicada de la bioremediació, hi ha un gran rerefons de recerca que el grup de Bioremediació porta a terme per ampliar el coneixement d'aquesta àrea. Per exemple, s'encarreguen de caracteritzar diferents poblacions degradadores així com també els processos que duen a terme. Identifiquen metabòlits que es produeixen a partir de les activitats que s'han produït i utilitzen tècniques moleculars per observar la dinàmica de les comunitats microbianes per poder analitzar la seva composició en funció de la resposta que fan. Estudien quin tipus de bacteris són més abundants en unes condicions o unes altres, així com els gens que s'activen en cada cas. Les opcions que ofereix la investigació d'aquesta àrea són gairebé il·limitades.

També van aconseguir soques de bacteris aïllades i van buscar aplicacions biotecnològiques, així com van descriure noves vies de degradació. El que resulta més interessant són les interaccions entre poblacions microbianes. Aquestes interaccions sovint provoquen que unes poblacions bacterianes siguin més efectives juntes que per separat perquè actuen sinèrgicament. Gràcies a això van descobrir poblacions que no són cultivables i que fins al moment no s'havien detectat però que continuen existint cada vegada que es fa una simulació de contaminació. Aquests cultius no es poden aïllar perquè depenen els uns dels altres. Encara que a nivell de laboratori es pugui aïllar un bacteri i es descrigui una ruta degradadora per aquesta, a la natura tot pot variar perquè dependrà en gran part de les circumstàncies en què es trobi.

Per exemple, suposem que tenim una situació en què tenim dos productes, un més pesat que l'altre. La població bacteriana consumirà preferentment el producte lleuger, mentre que el més pesat es limitarà a oxidar parcialment. Aquest compost oxidat serà llavors aprofitat per una segona població bacteriana que sí degradarà aquest compost. Així s'estableix una mena de cadena de degradació en què diferents poblacions de microorganismes són capaços d'eliminar un agent contaminant encarregant-se cadascuna d'un pas en concret, com si fos una cadena de muntatge al revés.

Tot això provoca que la bioremediació en general s'estigui ampliant cada vegada més i que per això, agents contaminants que ara per ara són pràcticament impossibles d'eliminar, en un futur sigui més factible. Qui sap, igual arribarà un moment en què l'empremta que els humans estem deixant a la Terra es redueixi fins al punt que sembli que no haguéssim passat per aquí.

Entrevista a Magdalena Grifoll



Com va sorgir el teu interès per la biologia i, posteriorment, per la microbiologia?

A mi la biologia m'ha agradat des que anava a l'institut. Durant els darrers cursos del BUP, que era el que hi havia en aquest temps, tenia un professor que era biòleg. Ens explicava els cicles bioquímics i va ser això el que em va seduir més. No ho tenia clar, hi havia altres coses que m'agradaven i al final vaig optar per la biologia.

T'has arribat a penedir alguna vegada de prendre aquesta decisió?

No. En absolut. Encara que sí és cert que un pensa que podria haver fet una altra cosa com ara bioquímica, però el que és penedir, no.

La microbiologia la vaig descobrir a tercer de carrera.

En aquests temps la veieu a l'institut, amb la bacteriologia, els fongs ... tot això nosaltres no ho veïem. No ens deien ni tan sols el que era un bacteri. Vaig descobrir tot això quan feia segon, em va agradar molt i després vaig pensar que podria tenir més sortides, malgrat que a mi m'agradava també la zoologia. Encara que vaig tenir un professor de zoologia que no era massa motivador i llavors vaig pensar en la possibilitat d'acabar i haver de dedicar-me a l'ensenyament als instituts, que era una cosa que no volia fer. La microbiologia, a més d'agradar-me de per sí, em va permetre combinar el meu interès per la bioquímica.

Què et va impulsar a fer un doctorat?

Jo vaig entrar amb una beca de col·laboració quan estava a 4t. Era una cosa poc coneguda i vaig venir al departament de microbiologia per demanar aquesta beca. Vaig començar a treballar en el laboratori sobre coses ja de bioremediació d'hidrocarburs i em va agradar molt.

Llavors ja no vaig pensar en les sortides laborals ni en ser professora, vaig pensar que era una oportunitat única de, durant un temps, fer alguna cosa que m'apassionava i que m'agradava molt. A més, jo tenia molt interès a sortir a l'estranger i vaig pensar que era una molt bona oportunitat per viure un temps fora fent un post-doc.

Consideres llavors que sortir a l'estranger és una bona experiència?

Sí, és indispensable.

Ja no és només recomanable.

Jo crec que és indispensable. No només pels professors sinó per a qualsevol persona que acabi la carrera. I cada vegada més, eh? Penso que és molt bo que veieu, quan acabeu la carrera

encara que sigui per poc temps, com es viu en altres països i com s'enfoquen les diferents situacions.

Quin va ser el tema del teu doctorat?

Vaig treballar en la detecció d'agents mutagènics en el medi ambient i en biodegradació, dividit en dues parts.

Una part era microbiològica, que consistia en el test de *Salmonella* per detectar mutàgens ambientals. Ho vaig fer en col·laboració amb CID-CSIC, fèiem extractes ambientals i fraccionaments per poder identificar quines eren les que tenien una major càrrega mutagènica. Cada fracció la assajàvem amb un test de mutagenicitat amb *Salmonella*. Treballàvem sobretot amb sediments de rius i marins. Vam veure que els sediments de Barcelona tenien agents mutagènics i sospitem que provenia d'una aportació atmosfèric.

Després vaig començar amb la directora del grup la degradació d'hidrocarburs, també en col·laboració amb el CSIC, encara que ella no feia les anàlisis, sinó que s'encarregava de les incubacions. Vaig començar a treballar amb química analítica per poder identificar metabòlits. Vaig descriure una ruta de degradació d'un compost denominat fluorè, un compost aromàtic policíclic.

Quan fas un experiment, òbviament esperes que tot surti bé. Però quan falla, ¿quina és la millor actitud per afrontar?

Els resultats negatius s'han d'afrontar sempre d'una manera molt crítica. Primer hem de mirar què podem aprendre d'això. I no et parlo només des del punt de vista d'investigadora, sinó també de professora. Els experiments els fan doctorands i els fan estudiants de TFG.

En uns experiments com els nostres que tracten sobre mostres ambientals, la hipòtesi inicial no consisteix en un únic plantejament. Estudiem diferents condicions de tractament: quin és el més productiu, els tipus de poblacions, a quins temps es produeixen, per què un és millor i un altre no... Les hipòtesis són múltiples, són experiments molt llargs en què no pot ser que una persona que hagi estat treballant durant 6 mesos no pugui treure res. Si un experiment no ha funcionat, primer s'ha de mirar si s'ha fet tot bé i després valorar què podem treure d'aquesta hipòtesi. Per què no ha sortit bé? Potser perquè hi ha alguna cosa que no funcionava de la manera que nosaltres pensàvem. Llavors s'hauria d'intentar de donar-li la volta i veure què s'ha après. És una situació en la qual es tanca una porta i s'obre una altra.

Quin és l'experiment del que et sents més orgullosa?

Per a mi, el més important va ser abordar el tema del cometabolisme en un moment en què es feia molt poc. Concretament, el paper que feia el cometabolisme en barreges ambientals. Això ho vaig començar a fer en el meu post-doc a Florida, on vaig aprendre molt. Vaig fer un article en el 95, que ha resultat ser dels més citats que tinc. En aquest, es veia com una soca bacteriana degradava un compost, però actuava sobre molts altres, que encara que ara pugui semblar molt simple en el seu moment era bastant nou.

És possible combinar el treball de laboratori amb la vida personal?

En el meu cas no només es tracta de combinar el treball de laboratori amb la vida personal, sinó que a més d'afegir la docència. És molt difícil. El tema de la vida personal sí que és difícil i tens una pressió a sobre que de vegades es fa complicat sostenir. Quan estàs en un lloc, creus que hauries d'estar en un altre lloc i quan estàs en un altre lloc penses que hauries d'estar en un més.

És com fer malabarismes.

Exactament. Però jo crec que és més important per les dones.

Com és això?

Et posaré un exemple. Aquí al laboratori, una majoria de les dones que tenen més publicacions han tingut fills molt tard o són solteres. Les investigadores, la gent que arriba a ser catedràtica es troben en aquesta situació. I és a causa d'aquesta circumstància de tractar de controlar el temps, ja que la feina d'investigador no el pots deixar a un costat i després tornar ja que perds el tren. Per això sempre tens aquesta pressió.

D'altra banda, cada vegada has de demanar més projectes i has de buscar més diners. Això implica que no pots dir "no" a res. Llavors, bé pots estar sense un projecte com tenir tres alhora. I falta personal tècnic que et pugui ajudar. Això vol dir que has de formar gent per a això i resulta molt estressant.

Amb la docència doncs bé, però ara tenim un pes de gestió molt important. Això és més un problema de la pròpia Universitat de Barcelona perquè no entra gent jove, de manera que la gent que estem hem d'assumir cada vegada més papers de gestió. Moltes vegades aquesta gestió és bastant administrativa. Això vol dir que has de fer molta feina que podria fer una secretària, però no disposem d'aquest suport. Combinar tot això costa molt. El problema de combinar la docència i la investigació és que no estan ben compartimentades, amb el que tens dos inputs continus i has d'anar canviant de marxa total i contínuament. Tot això és el que suposa un major desgast.

Sona una experiència molt estressant.

Ho fas perquè realment t'agrada, però sí que és estressant. Hi ha gent que ho està deixant i s'està jubilant aviat. Però es tracta d'una situació de la mateixa UB, eh? No és de tot el món. Però d'altra banda el nostre treball té molts al·licients, tant en la docència com en la investigació, i per això val més la pena.

Les retallades en recerca s'han degut de notar.

Jo ho he notat sobretot per falta de personal. Nosaltres som ja de per si un grup petit. És més difícil aconseguir beques i llavors és més difícil mantenir un grup.

Quants sou?

Nosaltres som un grup consolidat, que és més gran, i devem de ser uns 20 membres o així. Però el meu grup de biodegradació som 4 ara mateix. Dos titulars, un post-doc i una doctoranda. El post-doc s'ha anat fa poc als Estats Units amb una beca Marie-Curie i la doctoranda acaba la tesi ara. Ara tindrà a dues persones que segurament es quedaran a fer el màster però que no disposaran de personal amb experiència en el laboratori.

Després hi ha les retallades, que influeixen en el nombre de projectes. Nosaltres demanàvem un projecte coordinat i aquest any per assegurar un petit projecte pots demanar-li a un investigador del CSIC, precisament perquè la massa del grup era petita.

Vaig sentir a dir que de 10 projectes que es presentaven s'escollien almenys 1. Ara, la proporció és d'1 a 100 més o menys.

Això vol dir que has de fer un esforç molt gran per demanar molts projectes que realment no sabràs com acabaran. I tampoc saps si tindràs el personal per afrontar-ho. Després també hi ha el que no tenim cap assignació fixa. És a dir, si se'ns espatlla un aparell, no tenim molts diners per arreglar-ho. A vegades, la facultat ens paga una part, però no tenim diners extra.

A la Junta d'Andalusia, per exemple, fan convocatòria de projectes mentre que a Catalunya amb prou feines se'n fan. Aquí, abans als grups de recerca consolidats els hi donaven diners a la majoria. Ara ens han reconegut com a grup consolidat però no ens han donat diners.

¿I tot això repercuteix d'alguna manera en la qualitat dels vostres experiments? En tenir menys personal això deu implica que heu de fer més coses o trigueu més

Tenim... menys èxit. Quan comences alguna cosa nova, ho fas amb gent nova. La gent nova s'equivoca molt, encara que això és normal perquè tots ens equivoquem quan fem alguna cosa nova. Fins que aprenen... el primer any si tenen un post-doc al costat o un doctorand amb més experiència al seu costat ...

...Les podrien aconsellar millor.

Exacte, hi ha comunicació entre ells. Però si no és així, hi ha moltes coses que ens poden resultar òbvies quan portes un temps però per la gent nova no ho és tant. Per exemple, un problema de microbiologia com és la contaminació, que és un fenomen que passa habitualment. Si tu tens experiència, pots avaluar la situació i posar-hi remei, però si no ho saps veure es pot tornar un problema.

Creus que la societat sap realment el que és la bioremediació o per contra creus que tenen una visió distorsionada, com si fos un remei perfecte?

Jo crec que hi ha una part que ho desconeix completament. Després hi ha una altra part que potser pensa que és més fàcil del que realment és. Ara, quan es parla de Bioremediació, es parla de minimitzar el risc, no de netejar la zona completament. Encara que no arribis a la total descontaminació, almenys redueixes el risc per l'ecosistema.

La gent del carrer no crec que sàpiga el que és realment la bioremediació. A vegades a les notícies que surten als diaris, la divulgació no és del tot precisa. En el detall hi ha molts errors petits.

Errors que per sí sols es poden obviar més o menys, però si es van acumulant arriben a ressaltar excessivament.

Sí, pot resultar a ser poc seriós de vegades. També de vegades li atorguen transcendència a coses que potser no són tan importants com altres no arribaran al públic. En ocasions parla més d'un tema qui precisament ha treballat menys en ell, i això pot estar bé perquè necessitem divulgadors però necessitem que siguin acurats.

Creus que hi ha un problema de comunicació entre els científics i la societat?

Jo diria que el major problema de comunicació no està entre els científics i la societat sinó entre els científics i l'administració. L'administració per la seva banda o no respon o no estableix els suficients ponts. Moltes empreses d'aquí, a vegades demanen consultories a l'estranger perquè no saben el que hi ha aquí. I a la mateixa administració crec que no hi ha prou experts que dominin el tema, sinó que són més executors. Caldria posar aquests tres elements d'indústria, administració i científics molt més en contacte. Aquest triangle, que és molt més fluid i molt més actiu per exemple en països del nord d'Europa, almenys en el camp en el qual em dedico.

Fa poc vaig anar a un congrés, el AquaConSoil, del qual sóc membre; que és el congrés de descontaminació del sòl i hi havia representants de l'administració de Dinamarca, empreses i científics de tots els països nòrdics. En canvi, aquí falta tot això. Veus que entre ells hi ha una comunicació fluïda. Aquí no es dóna això. A les Jornades sobre contaminació de sòls, el que vam dir tots els científics d'aquí és que hem de crear xarxes en la que hi hagi una comunicació fluida i que tot el tema de la contaminació sigui transparent. Als països nòrdics i els Estats Units aquest tema es tracta d'una manera molt més transparent, la informació és molt més pública.

Aquí no hi ha res contaminat, està tot net i si comences des d'aquesta premissa és difícil fer res. Ningú ho reconeix, hi ha molta confidencialitat. Els emplaçaments contaminats aparentment només els coneixen l'administració i les empreses. I les empreses per la seva part no reconeixen que tinguin problemes de contaminació.

Cap empresa admetrà obertament que ells han contaminat alguna cosa.

Hi ha alguna que sí t'ho dirà, però són poques. Jo tinc publicacions d'empreses que han fet un treball de descontaminació que ha estat un èxit i han tingut interès de publicar en revistes tècniques o fins i tot en premsa local. Però hi ha altres... Les grans empreses que són propietàries de territoris que han estat descontaminats amb èxit no volen que es digui que el van contaminar ells, per molt que els consultors tinguin la voluntat de fer-ho saber.

És una pena perquè es queden amb la idea que han contaminat ells en lloc de quedar-se amb la part d'haver fet alguna cosa per solucionar-ho.

La bioremediació funciona de la següent manera, almenys aquí a Espanya: hi ha la gran empresa, moltes vegades alguna constructora, que té els terrenys contaminats, que potser no ho han fet ells però els han comprat així. Després hi ha els consultors ambientals que són empreses, de vegades petites, que actuen com a intermediaris. Avaluen el risc i parlen amb l'empresa sobre si volen fer una descontaminació i del contracte que haurien de fer. Després hi ha l'administració que ho supervisa tot. Doncs a aquest client final li costa molt creure en el tema de la bioremediació, i necessita que els casos en què s'hagi fet una bioremediació i han estat reeixits ho visualitzin.

Això als EUA passa i està penjat a la pàgina oficial de l'EPA. I aquí això no hi és. Al nord d'Europa està tot molt més clar, tot més inventariat, més públic. Aquí costa més. I també falta diners. Abans a Catalunya érem líders en el sector, per darrere del País Basc, que invertia més que nosaltres, però tot es va aturar a causa de la crisi econòmica. Falten tècnics, falta personal. Manca una infraestructura administrativa fluïda. I caldria un pla d'inversió a llarg termini, perquè sembla que tot el que es fa aquí es fa per a un espai de temps molt curt. I els temes de descontaminació porten molt més temps. Es necessitaria un canvi de mentalitat. Només així les coses anirien molt millor.

Bibliografia

<http://clu-in.org/techfocus/default.focus/sec/Bioremediation/cat/Overview/>

<http://omicsonline.org/bioremediation-biodegradation.php>

Fernández-Álvarez P, Vila J, Garrido-Fernández J.M, Grifoll M, Lema J.M (2006). Trials of bioremediation on a beach affected by the heavy oil spill of the Prestige. *Journal of Hazardous Materials B137* (2006) 1523-1531

Vila J, López Z, Sabaté J, Minguillón C, Solanas A.M, Grifoll, M (2001). Identification of a Novel Metabolite in the Degradation of Pyrene by *Mycobacterium* sp. Strain AP1: Actions of the Isolate on Two- and Three-Ring Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Applied and Environmental Microbiology*, Dec. 2001, p. 5497-5505. Doi: 10.1128/AEM.67.12.5497-5505.2001

Vila J and Grifoll M (2009). Actions of *Mycobacterium* sp. Strain AP1 on the Saturated- and Aromatic-Hydrocarbon Fractions of Fuel Oil in a Marine Medium. *Applied and Environmental Microbiology*, Oct. 2009, p. 6232-6239. Doi:10.1128/AEM.02726-08

López Z, Vila J, Ortega-Calvo J.J, Grifoll M. Simultaneous biodegradation of creosote-polycyclic aromatic hydrocarbons by a pyrene-degrading *Mycobacterium*. *Applied Microbiology Biotechnology* (2008) 78:165-172. Doi 10.1007/s00253-007-1284-2

Viñas M, Sabaté J, Grifoll M, Solanas A.M. Ensayos de tratabilidad en la recuperación de suelos contaminados por la tecnología de la biorremediación.

Vila J, Urbizu A, Grifoll M, Bosch M, Nilsson J, Mundó B, Piñuela P (2014). Técnicas de biorremediación para el saneamiento del subsuelo. Industria química, Junio 2014.

Imatge del títol: <http://andrewtle2011.wix.com/bioremediation#!background/cp1h>

Imatge 1: <http://www.counterbalance.org/media/earthist.gif>

Imatge 2: http://contaminationcontrol.dpp-europe.com/plugins/fckeditor/UserFiles/Image/en/images/types_of_contaminants.jpg

Imatge 3:
http://www.phschool.com/science/biology_place/biocoach/images/biokit/chnops.gif

Imatge 4: <http://www.integraenvironmental.com/Images/1microcell.gif>

Imatge 5: <http://www.ecologiaverde.com/>