

Viabilitat del reciclatge sostenible d'Elements de Terres Rares en la pols acumulada en les carreteres: ECO-TERRA

1. Introducció i motivació

Els **Elements de Terres Rares (ETRs)** són un grup de 17 elements químics que inclouen l'escandi (Sc), l'itri (Y) i els lantànids (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb i Lu). Durant les últimes dècades, hi ha hagut una explosió en les aplicacions dels ETRs en les indústries automotrius, de defensa militar, metal·lúrgica, aeroespacial, mèdica, d'energia neta i d'alta tecnologia. Són components essencials dels catalitzadors, d'imants utilitzats en els aerogeneradors, de bateries i dels panells solars. Per tant, els ETRs constitueixen una matèria prima amb **múltiples aplicacions**, algunes d'elles importants per la forma de vida actual, que poden permetre la **transició** cap una **economia i societat més verda**.

Xina, amb aproximadament el 50% de les reserves totals d'ETRs conegudes al món, ha satisfet més del 90% de la demanda mundial durant dècades, gracies a la seva excepcional diversitat de dipòsits minerals d'ETRs de gran importància econòmica. Com a resultat, aquest país presenta una espècie de posició de monopoli en el sector de la mineria, del processament i del refinat mineral. Aquesta posició afecta al teixit industrial y econòmic mundial, ja que és habitual l'aplicació de restriccions de subministrament i d'exportació d'aquests elements per part de Xina. Cal destacar, que en tota la Unió Europea (UE) no existeix cap dipòsit mineral que s'estigui explotant en l'actualitat per a l'obtenció d'ETRs. Això, a comportat que els països de UE depenguin al 100% de la importació d'aquests elements tan estratègics per la indústria tecnològica, fet que constitueix un repte global, tant polític com econòmic, però també social. Tal és així, que la UE ha classificat aquests elements com a **metalls crítics** degut a la seva **importància econòmica** i la elevada **escassetat de subministrament**. Per abordar aquest repte la UE han plantejat diverses **estratègies**: i) **substituir-los** per metalls menys crítics, tot i que no és possible per a molts components tecnològics; ii) realitzar una **mineria sostenible** de dipòsits no convencionals; i iii) **reciclar-los** d'abocadors de residus urbans, poc viable degut a la dificultat de separar-los d'altres metalls (únicament es recicla el 1% dels ETR utilitzats).

D'altra banda, degut al dràstic augment de l'ús dels ETRs, certes quantitats d'aquests metalls crítics s'alliberen en el medi ambient, causant **contaminació** i una **amença** pels **sistemes ecològics** i per la **salut humana**. La contaminació ambiental de l'aire, que pot acumular-se en forma de pol·lució en les carreteres a través de la deposició atmosfèrica, és un dels reptes globals en la societat actual. La pol·lució acumulada en les carreteres és una mescla complexa de partícules de diferents fonts antròpiques i geogèniques que actuen com emmagatzematge de metalls pesants, tals com els ETRs, les quals deriven potencialment de les emissions dels vehicles. Les **partícules contaminats d'ETRs en la pols de les carreteres** poden ser resuspesos en l'atmosfera, transferits als sòls adjacents, dissolts en l'escorrentia d'aigües i fitoacumulats en les plantes. Per tant, els ETRs poden ingressar al cos humà per inhalació, ingestió i absorció dèrmica. A **Barcelona** s'estima que al llarg de l'**any** els **habitants respiren 292 kg de partícules** derivades de la pol·lució, fet que, segons la Organització Mundial de la Salut (OMS), guarda relació amb **malalties** cardiovascular, respiratòries i del sistema nerviós.

L'estudi de la pols en les carreteres pot ser emprat com un indicador dels **nivells de contaminació urbana**. Aquest fet ha encoratjat a investigadors a realitzar estudis geoquímics dels ETRs per avaluar les potencials fonts de la pol·lució i l'impacte ambiental. Tot i això, curiosament, **la informació científica sobre els ETRs en la pols de les carreteres encara és molt escassa**, i els treballs sobre la seva expressió mineralògica estan molt poc desenvolupats. A més, **la pols de carretera mai ha sigut examinada com una font de recurs econòmic d'ETRs en un context de mineria urbana sostenible**, que permeti reduir la escassetat de subministrament d'aquests metalls a Europa, l'alt impacte ambiental i els efectes sobre la salut.

2. Objectius

La idea del **projecte ECO-TERRA** és avaluar amb fiabilitat la viabilitat de transformar un residu urbà, com és la pol·lució acumulada en les carreteres, en un recurs econòmic. L'objectiu específic és realitzar un estudi que permeti **avaluar el potencial de la pol·lució vehicular acumulada en les carreteres** de Vilafranca del Penedès **per a constituir un dipòsit mineral “urbà” d’ETRs**, mai definit fins a dia d’avui, així com **la viabilitat del seu reciclatge i explotació** a escala de laboratori en un context d’economia circular, sostenible i respectuosa amb el medi ambient.

3. Aplicabilitat i escalabilitat del projecte

S’ha començat a realitzar estudis científics preliminars sobre l’**expressió mineralògica dels ETRs** en polsims derivats de la pol·lució vehicular recol·lectats en diferents carreteres de trànsit rodat de la Província de Barcelona (ciutat Comtal de Barcelona i municipis de Badalona, Sabadell i Sitges), que han posat de manifest la existència de **fases minerals d’òxids d’ETRs**, principalment **de ceri (Ce), lantani (La) i neodimi (Nd)**. Aquestes fases minerals, que es troben en forma de partícules alliberades, es creu que s’han **format durant les reaccions catalítiques** produïdes en els **automòbils**. Els resultats geoquímics preliminars indiquen que els polsims estudiats contenen 82-154 mg/Kg d’ETRs. Però, **¿Quina concentració d’ETRs presenten els polsims a les carreteres de Vilafranca del Penedès i quantes tones es poden acumular a l’any?**

És evident que les concentracions d’ETRs en la pols acumulada de les carreteres són molt baixes en comparació als dipòsits minerals convencionals d’ETRs. Tot i això, estudis científics desenvolupats en pols acumulada en diferents carreteres europees indiquen concentracions d’ETRs aproximadament 5 vegades menors que els dipòsits de baixa llei d’argiles que contenen ETRs, els quals són considerats econòmics degut a les seves favorables condicions d’explotació i processat mineral. Un **avantatge** per a la **explotació dels polsims de carretera** resulta en el fet de que les partícules constituïdes d’òxids d’ETRs es troben alliberades, pel que el seu **recuperat** seria molt més **eficient energèticament i sostenible** que la recuperació en altres dipòsits convencionals o inclús del reciclatge selectiu en abocadors, ja que no seria necessari realitzar una trituració prèvia exhaustiva del material. A més, habitualment els minerals d’ETRs en dipòsits minerals convencionals es troben en forma de fosfats i carbonats, els quals presenten un preu del mercat més baix que els òxids, pel que les empreses mineres acostumen a realitzar un processat metal·lúrgic per a obtenir els ETRs en forma d’òxids. Per exemple, l’òxid de lantani presenta un preu de mercat de 7.000 euros/tona aproximadament, mentre que el carbonat de La de 2.300 euros/tona. El cost energètic i econòmic que suposa realitzar el processat metal·lúrgic, seria minimitzat en l’explotació dels minerals d’ETRs de la pols acumulada en les carreteres, ja que es troben naturalment en forma d’òxids.

Cal mencionar que, **únicament existeix una empresa** en tot el món **que utilitza polsims de carretera pel reciclatge** de metalls crítics, particularment els **Elements del Grup del Platí (EGP)**, els quals tenen un elevat interès econòmic. La **empresa Veolia** recicla aquests elements preciosos (platí, pal·ladi i rodi) de polsim escombrat en els carrers de la ciutat de Londres en la planta pilot de Veolia Environnement a Ling Hall, obtenint un **benefici anual de 155.000\$ de 40.000 tones de pols tractada**. D’aquesta forma, queda palès que **tenim una mina a cel obert en els carrers de les nostres ciutats que estem desaprofitant**. Així, a més de recuperar ETRs de la pols acumulada en les carreteres, mai realitzat a dia d’avui, es podria reciclar EGP per a augmentar la viabilitat econòmica de la explotació. El reciclatge dels polsims de carretera podria permetre la transformació d’aquest residu urbà en un recurs econòmic en un context d’economia circular i sostenible, i així disminuir el risc de subministrament d’ETRs a Europa i els nivells de contaminació atmosfèrica. Per tant, **¿Vilafranca del Penedès podria ser pionera en el reciclatge d’ETRs dels polsims de carretera, i així convertir-se en una ciutat neuràlgica de referència a nivell mundial?**

Tot i els resultats obtinguts és necessari aplicar-los en altres municipis, com Vilafranca del Penedès, per a demostrar amb fiabilitat el potencial de la pols en les carreteres per a obtenir minerals d'ETRs. Aquest projecte és **aplicable** a la capital de l'Alt Penedès, no només per l'**alt nombre de carreteres** existents de gran importància (ex., AP-7, C-15, N-340), sinó també per la **proximitat amb altres ciutats de la Província de Barcelona** que presenten una alta densitat vehicular (ciutat comtal de Barcelona, Badalona, Sabadell, Terrassa, entre d'altres). Aquest fet permetria no només reciclar els polsims de carretera acumulats a Vilafranca del Penedès sinó també d'altres municipis de la Província. Per tant, si es confirmés la viabilitat d'explotació de REE dels polsims de carretera a escala de laboratori es podria plantejar en un futur el reciclatge d'aquests elements i expandir el projecte a altres municipis, creant un teixit econòmic i productiu a nivell Autonòmic i Nacional.

4. Implementació i viabilitat del projecte

El projecte **ECO-TERRA** es pretén executar en dos anys. La present idea innovadora està desenvolupada pel **Dr. Dídac Navarro-Ciurana**, que és: i) [investigador post-doctoral](#) en el grup de recerca **MAiMA -Isòtops Estables i Mineralogia-**, un grup TECNIO de la **Universitat de Barcelona (UB)**; ii) [professor associat](#) al Departament de Geologia de la **Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)**; i iii) [vici-secretari](#) de la **Societat Espanyola de Mineralogia (SEM)**. Pel correcte desenvolupament del projecte és necessari l'aplicació de tècniques analítiques específiques, pel que es pretén que es generi una sinèrgia entre l'Ajuntament de Vilafranca del Penedès, el grup MAiMA-UB i el Departament de Geologia de la UAB. Cal destacar que per aconseguir que el projecte tingui una aplicació comercial per les administracions públiques i un nivell de maduresa tecnològica (TRL) 9 "Sistema provat amb èxit en entorn real", és necessari **validar la idea a escala de laboratori (TRL 4)**, que correspon a la **fase final d'ECO-TERRA**. Així, el present projecte començarà per la identificació i caracterització dels ETRs en els polsims de carretera de Vilafranca del Penedès, que correspon amb un **TRL 2-3** (Tecnologia formulada – Prova de concepte experimental). Finalment, i en base a aquesta caracterització, s'aplicarà la millor tecnologia disponible a nivell de laboratori, i si escau es fabricarà un de nou, per a concentrar minerals d'ETRs. A més, es realitzaran proves inicials per validar l'eina tecnològica. Aquesta última fase plantejada correspon amb un **TRL 3-4** (Prova de concepte experimental – Validació tecnològica a escala de laboratori). A nivell de recursos humans, **ECO-TERRA** compta amb el suport de l'equip de científics del grup MAiMA i del Grup de Recerca Consolidat per l'AGAUR "**Mineralogia Aplicada, Geoquímica i Geomicrobiologia**" ([2017SGR1733](#)), constituït per membre de la UB, UAB i del CSIC. A continuació es descriuen els paquets de treball (PT) i les tasques (T) a realitzar. A la Figura 1 es detalla la planificació del projecte, incloent la divulgació i entrega d'informes, i el pressupost total del projecte.

PT 1. Estudi geoquímic i mineralògic dels Elements de Terres Rares (ETRs) en la pols acumulada en carreteres

Objectius: Determinar les concentracions dels ETRs en la pols acumulada en les carreteres, caracteritzar les fases minerals dels ETRs, identificar els factors crítics que permeten l'acumulació d'aquests minerals i esbrinar els seus potencials origen. Conèixer aquests paràmetres permetrà definir la millor eina tecnològica a aplicar per la recuperació sostenible dels minerals d'ETRs a escala de laboratori.

- T 1.1. Disseny de mostreig** a partir de l'anàlisi dels nivells de pol·lució i del tràfic en la ciutat de Vilafranca del Penedès.
- T 1.2. Mostreig**, que es pot realitzar amb el suport del Servei de Neteja Viària de l'Ajuntament de Vilafranca del Penedès.
- T 1.3. Caracterització geoquímica de roca total de les mostres**, per determinar les concentracions dels ETRs.
- T 1.4. Caracterització mineralògica dels ETRs**, que permetrà definir l'eina tecnològica per a la seva recuperació.
- T 1.5. Interpretació de resultats.** Amb les dades obtingudes es podrà determinar la quantitat d'ETRs que presenta la pols de carretera, quantes tones s'acumulen anualment, així com les fases minerals existents.

Tant la UB com la UAB compta amb una alta gamma de microscopis òptics per a la identificació mineralògica i caracterització petrològica i textural a microescala per la realització d'aquest paquet de treball. Pel desenvolupament d'**ECO-TERRA** es disposa d'accés als **Centres Científics i Tecnològics de la UB (CCiTUB)** i als **Serveis Científicotècnics de la UAB (SCT-UAB)**, plataformes tecnològiques que proporcionen suport a la investigació de forma coordinada i integral, i que corresponen a dues de les instal·lacions d'infraestructures mitjanes més grans d'Espanya, amb la més amplia gama de tecnologies d'alta resolució per la caracterització de materials i d'anàlisis químiques, tals com: Difracció de Raig-X (DRX), Microscòpia electrònica de rastreig (SEM-EDS), Microsonda electrònica, Espectroscòpia Raman, entre d'altres. Tant el CCiTUB com el SCT-UAB compta amb la certificació de qualitat del sistema de gestió ISO 9001:2000, que satisfà també els requisits de les Normes de Correcta Fabricació. Algunes d'aquestes tecnologies, especialment la SEM-EDS, Microsonda electrònica i DRX, són claus pel desenvolupament del projecte. A més, es pretén realitzar estudis d'identificació mineral a nanoescala mitjançant micro-difraccions de Raig-X en el **sincrotró Alba**, que és una infraestructura científica de tercera generació de la xarxa d'**Infraestructures Científiques i Tècniques Singulares** que col·labora estretament amb la UAB.

PT 2. Prova pilot a escala de laboratori per a la recuperació dels ETRs de la pols acumulada en carreteres

Objectius: Avaluar les eines tecnològiques existents a escala de laboratori per a la recuperació sostenible dels minerals d'ETRs. Aplicar i validar l'eina tecnològica més eficient i sostenible per a recuperar minerals d'ETRs a escala de laboratori que permeti determinar la viabilitat del projecte i aportar futures idees innovadores de prova pilot a escala real.

T.2.1. Avaluació d'eines tecnològiques per la recuperació dels minerals d'ETRs a escala de laboratori. Es realitzarà un estudi per avaluar la millor eina tecnològica per a tal efecte.

T.2.2. Aplicació i validació de l'eina tecnològica determinada per la recuperació dels ETRs.

T.2.3. Anàlisis de la viabilitat de la recuperació d'ETRs. Amb les dades obtingudes em el PT1 i el PT2 es realitzarà un anàlisis de la viabilitat de la recuperació d'ETRs indicant propostes futures per a desenvolupar una prova pilot a escala real.

Una de les eines tecnològiques que s'avaluarà correspon a la **tècnica d'hidroseparació (HS-11)** fabricat per CNT Corporation, Rússia), la qual està disponible al **Dept. de Mineralogia, Petrologia i Geoquímica Aplicada de la UB**. Aquesta **tecnologia neta, innovadora i sostenible** resulta ser molt eficient per a la **separació i concentració de minerals densos**, ja que es capaç de processar mostres de mida extremadament petita (<30 µm) únicament amb aigua **simulant la formació natural** de dipòsits minerals de tipus placer en platges. Si aquesta tecnologia resulta ser eficient per la concentració de minerals d'ETRs en la pols de carretera, es podrà plantejar en propostes futures una nova eina de prova pilot a escala real basada en la tecnologia HS, no disponible a dia d'avui en plantes pilots de concentració de minerals.

	Any 1												Any 2												Cost (€)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
PT 1. Estudi geoquímic i mineralògic dels Elements de Terres Rares (ETRs) en la pols acumulada en carreteres																									
T 1.1. Disseny del mostreig																									150,00 €
T 1.2. Mostreig																									50,00 €
T 1.3. Caracterització geoquímica de les mostres																									3.417,00 €
T 1.4. Caracterització mineralògica dels ETRs en les mostres																									2.950,72 €
T 1.5. Interpretació dels resultats																									150,00 €
PT 2. Prova pilot a escala de laboratori per a la recuperació dels ETRs de la pols acumulada en carreteres																									
T 2.1. Avaluació d'eines tecnològiques per la recuperació dels minerals d'ETRs																									150,00 €
T 2.2. Aplicació i validació de l'eina tecnològica determinada per a la recuperació dels ETRs																									2.150,70 €
T 2.3. Anàlisis de la viabilitat de la recuperació dels ETRs																									300,00 €
PT 3. Divulgació del projecte i entrega d'informes																									
T 3.1. Participació en congressos científics i jornades divulgatives																									400,00 €
T 3.2. Redacció d'informes de resultats																									325,00 €
T 3.3. Entrega d'informes de resultats																									0,00 €
																							Subtotal	10.043,42 €	
																							Gestió de la Universitat (Overheads)	2.669,77 €	
																							TOTAL SENSE IVA	12.713,19 €	

Figura 1. Planificació del projecte ECO-TERRA amb el pressupost total del projecte (IVA no inclòs).

5. Impacte del projecte

La **exploració d'ETRs a la Península Ibérica** ha estat molt **poc activa**, pel que valorar el potencial de la pols en les carreteres per a constituir un recurs econòmic d'ETRs, mai explorat fins a dia d'avui, representarà una contribució important al coneixement, una repercussió en el reciclatge d'aquest residu per a recuperar ETRs en un context d'economia circular i sostenible, i un interès indubtable pel conjunt de la comunitat Europea. Aquest aspecte s'inclou en el **programa marc H2020** d'investigació i innovació “**Reptes socials: acció climàtica, medi ambient, eficiència de recursos i matèries primes**”, que pretén millorar el coneixement de les matèries i desenvolupar solucions innovadores per la exploració, extracció, processament, reciclatge i recuperació de matèries primes rentables, eficients i respectuoses amb el medi ambient.

Les publicacions científiques i la divulgació dels resultats d'aquest projecte en jornades nacionals, europees i internacionals ajudaran a posicionar Catalunya com un dels agents més rellevants en l'àmbit del reciclatge de residus urbans en un context de mineria sostenible. Altrament, pot generar un efecte tractor de noves inversions de valor afegit a Catalunya. Fins a la data, no existeixen estratègies tecnològiques per avaluar el reciclatge d'ETRs presents en els polsims de carretera. **ECO-TERRA** servirà per potenciar la implementació d'una nova eina tecnològica a Catalunya que permeti avaluar aquest residu urbà com a un potencial recurs mineral econòmicament sostenible, podent ser escalable a nivell nacional i internacional. A més, els resultats poden tenir un **impacte de transferència del coneixement i tecnològic** en l'àrea “**Energia y recursos**” definida en l'Estratègia d'investigació i innovació per l'especialització intel·ligent de Catalunya (**RIS3CAT**).

En el **Pla de Recuperació, Transformació i Resiliència del Govern Espanyol** es proposa un “**Pla de xoc de la mobilitat sostenible, segura i connectada en entorns urbans i metropolitanos**”, inclòs en el **NextGenerationEU** (instrument concebut per impulsar la recuperació de l'Europa posterior a la crisi de la COVID-19). Aquest pla de xoc té com a objectiu impulsar la descarbonització de la mobilitat urbana, la millora de la qualitat de l'aire i de vida en les ciutats, aprofitant les oportunitats econòmiques, socials i industrials. Per tant, **ECO-TERRA** pot presentar un impacte al pla proposat per fer front a l'era post-COVID-19, ja que permetrà aportar un valor econòmic a la pol·lució vehicular acumulada en les carreteres, així com noves metodologies i eines sostenibles a implementar pel reciclatge d'aquest residu urbà en un entorn d'economia sostenible, permetent la millora de la qualitat de l'aire a les ciutats i l'impuls d'una mineria urbana verda única a nivell mundial.

A més, **ECO-TERRA** pot tenir un impacte a mig-llarg termini en els següents Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS-Agenda 2030) establerts per l'Organització de les Nacions Unides (ONU): i) **Salud i benestar** (Obj. 3), ja que pot permetre reduir la contaminació de l'aire i en conseqüència prevenir malalties; ii) **Aigua neta i sanejament** (Obj. 6), atès que disminuirà el contingut de metalls en les carreteres i en conseqüència la contaminació dels sistemes hídrics; iii) **Treball decent i creixement econòmic** (Obj. 8), ja que constitueix la primera proposta emprenedora i creativa a nivell mundial pel reciclatge d'ETRs de la pols de carretera, podent comportar una transformació econòmica al disminuir el risc de subministrament d'ETRs a Europa; iv) **Ciutats i comunitats sostenibles** (Obj. 11), al reduir el contingut de pol·lució milloraria la qualitat de vida en les ciutats; v) **Producció i consum responsable** (Obj. 12), atès que el reciclatge dels ETRs pot permetre un ús més eficient dels recursos naturals; i vi) **Acció per el clima** (Obj. 13), ja que pot reduir la contaminació de l'aire.

Dídac Navarro Ciurana, mitjançant el present accepto expressament el tractament de les meves dades personals en els termes que s'estableixen en les bases reguladores d'aquest concurs.