

LA CIRCULARITAT DE LA TERRA

**Reutilització de Terres Residuals D'excavacions
com a Matèria Primera en la Construcció**

Pol Blasco Soler

LA CIRCULARITAT DE LA TERRA

Reutilització de Terres Residuals D'excavacions com a Matèria Primera en la Construcció

Treball fi de grau
Autor: Pol Blasco Soler
Tutora: Mariana Palumbo
Escola Tècnica Superior del Vallès
Universitat Politècnica de Catalunya
Juny 2023

ÍNDIX

1.Introducció	5
1.1 El camp que ens ocupa	6
1.1.1 Canvi de paradigma	8
1.2 La terra com a material de construcció	9
1.2.1 Context	9
1.2.2 Marc normatiu	11
1.2.3 Característiques bàsiques	12
1.2.4 Estabilitzant	14
1.2.5 Mecanismes d'assaig	15
1.2.6 Tècniques constructives	19
2. Objectius	24
3.Reutilització de terres d'excavacions	27
3.1 Antecedents	27
3.2 Valoració antecedents	32
4. Desenvolupament de l'estudi	35
4.1 Metodologia	36
4.2 Recopilació de dades	36
4.2.1 Tècniques constructives i granulometria	37
4.2.2 Grans excavacions generadores de terra	40
4.2.3 Geotècnics	41
4.3 Creuament de dades	42
4.4 Resultats	56
5. Conclusions	61
6. Bibliografia	62

“El nostre temps és el temps en què tot s’acaba. Vam veure com s’acabaven la modernitat, la història, les ideologies i les revolucions. Hem anat veient com s’acaba el progrés: el futur com a temps de la promesa, del desenvolupament i del creixement. Ara veiem com s’acaben els recursos, l’aigua, el petroli i l’aire net, i com s’extingeixen els ecosistemes i la seva diversitat. En definitiva, el nostre temps és aquell en què tot s’acaba, fins i tot el temps mateix. No estem en regressió. Diuen, algunes veus, que estem en procés d’esgotament o d’extinció. Potser no arribarà a ser així com a espècie, però sí com a civilització basada en el desenvolupament, el progrés i l’expansió.”
Marina Garcés

1.Introducció

Actualment, en el nostre planeta estem vivint múltiples crisis. Aquestes aparquen camps molt amplis, ens trobem davant una gran crisi civilitzatòria, en què l’esgotament dels recursos fòcils succeeix al mateix temps que esgotem la biosfera del nostre planeta⁽¹⁾.

(1) Pablo Martínez, Petroleo, Arcàdia, 2018, pag.08-09

Des de ja fa temps, diferents figures reconegudes en diferents camps han anat alertant de la situació límit a la qual ens aproximem cada vegada més ràpidament. A hores d’ara, ja ens trobem en una situació en què la reducció d’emissions de gasos d’efecte hivernacle, no ens salvarà del desastre. És necessari un canvi de paradigma, tant en l’àmbit social com en l’econòmic.

1.1 El camp que ens ocupa

(2) ItēC, «Buenas Prácticas Ambientales en las Obras de Construcción», setembre 2016

(3) Ministeri de Cultura, Alimentació i Medi Ambient, “Construction and Demolition Waste management in Spain V2”, setembre 2015

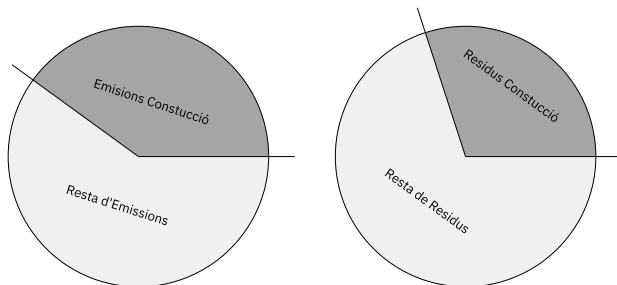
(4) Informe Symonds, “Construction and Demolition waste management practices and their economic impacts”, febrer 1999, Comisió Europea

L'àmbit de l'arquitectura també té responsabilitat pel que fa al canvi climàtic. Ja que la construcció, és una de les activitats actuals més contaminants. És responsable del 40% de les emissions de carboni (CO₂) i del 30% de la producció de residus (imatge 1). Aquesta realitat porta a preguntar-nos com podem arribar a reverir o millorar aquesta situació, i quin és el nostre paper com arquitectes.

L'any 2006 s'estimava que la producció de residus en el món de la construcció superava anualment una **tona per habitant**⁽²⁾. Tot i reduir-se fins a aproximadament a mitja tona per habitant l'any 2016, la previsió a falta de la publicació de dades definitives és que aquesta quantitat hagi augmentat per l'any 2020⁽³⁾.

En observar més detingudament l'origen o els principals causants d'aquestes dades, observem que a la UE l'excavació i el **moviment de terres són els responsables del 60%** dels residus del món de la construcció⁽⁴⁾.

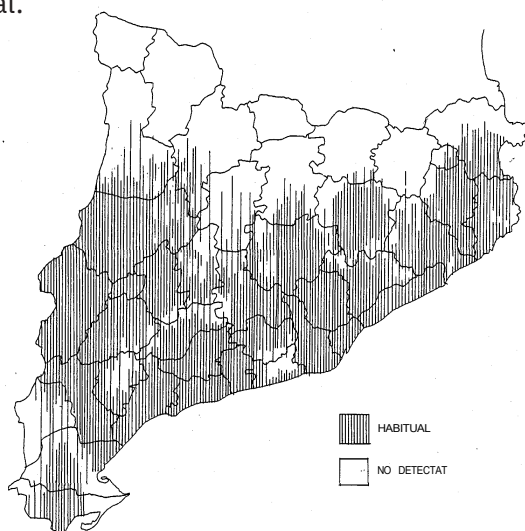
Els volums de runes d'excavació a Espanya l'any 2015 van ser de 35,6 milions de tones i s'estima que per als **pròxims 20 anys es generin 600 milions de tones**⁽²⁾.



Imatge 1 (PPE)

Segons la Directiva Europea, els sols procedents d'excavacions si no són reutilitzats in-situ s'han de considerar residus i tractar com a tal ⁽⁵⁾. Aquests residus, ara considerats inservibles tenen un gran potencial, sobretot les terres d'excavacions. En lloc d'emmagatzemar-les com a residu en un abocador, es podrien reivindicar les seves qualitats, i reinterpretar el que ara es veu com un residu en una nova matèria primera possiblement reaprofitada en el camp de la construcció.

La terra és un material de construcció tradicional, present en gran part del nostre territori (imatge 2), podem observar una gran quantitat d'edificacions construïdes amb aquest material tant en els nostres nuclis urbans com en l'àmbit rural.



Imatge 2 ⁽⁶⁾

La construcció amb terra comporta sistemes constructius amb un **baix consum energètic**, suposant així molt poques emissions de CO₂, a més, és totalment reutilitzable al final de la seva vida útil (si no s'estabilitza per millorar el seu comportament).

(5) Blanc Céline, Darmendrail Dominique, Rouvreau Laurent, Boissard Geoffrey, Scamps Mathilde BRGM, «REUSE OF EXCAVATED SOILS / TOOLS DEVELOPED AS PART OF THE FRENCH SOIL MANAGEMENT FRAMEWORK», octubre 2012

(6) Albert Cuchí, "Les Construccions de Terra a Catalunya la Tècnica de la Tàpia", setembre 1994

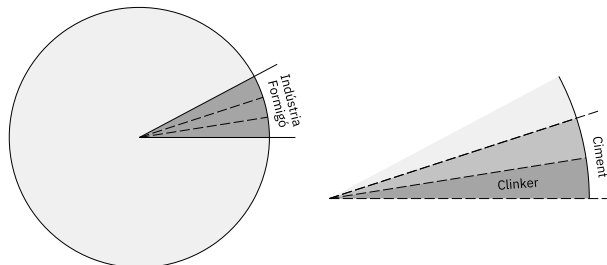
Altrament, se sumen les qualitats pròpies de la terra com la **inèrcia tèrmica, les propietats higrotèrmiques d'aquesta, una gran transpirabilitat i la no emissió de COVs** (Components Orgànics Volàtils), principal font de contaminació d'espais habitables.

1.1.1. Canvi de paradigma

La reutilització i valoració d'aquest material, no només suposaria la reducció d'una gran part dels residus generats pel camp de la construcció. A més a més, la implantació i guany d'importància de la construcció amb terra, suposaria la reducció d'altres sistemes constructius amb una petjada de carboni més elevada. L'efecte més directe que podem observar, a causa de les seves grans similituds tant pel que fa al seu comportament mecànic, com de processos d'execució, seria el cas del formigó.

(7) Chatham House, "Evaluación de riesgos del cambio climático 2021", setembre 2021

El formigó és responsable del 8% de les emissions mundials. La meitat de les emissions del formigó es generen principalment durant el procés de producció/fabricació del ciment Clinker, a causa de les altes temperatures necessàries per a la seva síntesi, suposant el **5% de les emissions mundials** ⁽⁷⁾(imatge 3).



Imatge 3 (PPE)

L'ONU, en conseqüència dels acords duts a terme a la Convenció Marc de Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (COP21) o Acord de París, exigeix al sector del formigó que **redueixi les seves emissions un 16%** els pròxims deu anys.

Aquests objectius són contraris als estudis realitzats, en què es preveu que la producció de la indústria del formigó els pròxims 30 anys, lluny de reduir la seva producció, aquesta **augmentarà en 5.000 milions de tones**⁽⁸⁾.

(8) WWF, «A blueprint for a climate friendly cement industry»

Seguint la dinàmica actual, complir aquests objectius queda lluny de la realitat. Per aquest motiu la implantació i normalització de la construcció amb terra, a més a més si aquesta es produeix a partir de la reutilització de terres d'excavacions, és tan important. Podent proporcionar una alternativa a la tècnica de formigó, i en conseqüència l'ús del ciment.

1.2 La terra com a material de construcció

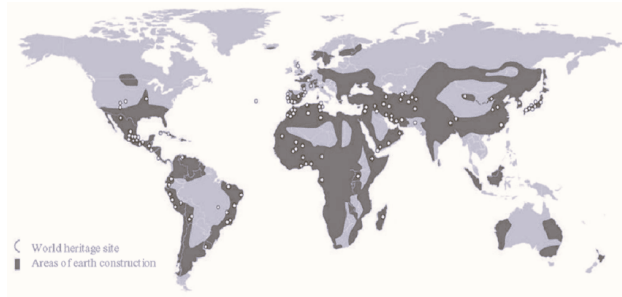
Per al correcte desenvolupament del treball, els plantejaments dels objectius d'aquest i la interpretació dels seus resultats pel que fa al reciclatge de terres d'excavacions i la seva reutilització com a matèria primera, és necessari desenvolupar unes nocions bàsiques sobre la mateixa construcció amb terra i els principals condicionants a tenir en compte a l'hora d'aplicar aquesta pràctica.

1.2.1 Context

La terra és un material abundant i accessible en gran part del planeta, això fa que estigui present en gran part dels sistemes constructius tradicionals. S'ha de puntualitzar que aproximadament **un terç de la població general viu en construccions fetes de terra**⁽⁹⁾ (imatge 4).

(9) Raquel Catalan Diaz, «Construcción con Tierra», TFG, juny 2018

(10) CRATERRE, ARQUITECTURA DE LA TIERRA EN EL MUNDO



Imatge 4 ⁽¹⁰⁾

Aquesta abundant presencia tant en tècniques constructives com en diferents construccions és un aval de les grans qualitats que te la terra com a material constructiu (transpirabilitat, inèrcia tèrmica, comportament higròtermic, comportament acústic, poca energia incorporada i la capacitat de reutilització entre altres). Tot i les grans qualitats que presenta el material, va perdre el seu interès a mesura que augmentava el desenvolupament tecnològic durant la industrialització.

(11) Panayiota Pyla, "The many lives of New Gourna: alternative histories of a model community and their current significance", novembre 2009

Tot i la pèrdua d'interès que va tenir la terra com a material de construcció, a finals del segle XX es va tornar a posar dins el marc internacional a partir de les accions de l'arquitecte egipci Hassan Fathy, i les seves contribucions dècades abans, com el projecte de nova urbanització del poblat de «New Gourna» al costat del riu Nil o la publicació del seu llibre "Arquitectura pels pobres" el 1973 entre d'altres coses. Les seves accions tot i que plenes de controvèrsia i crítiques ⁽¹¹⁾, han significat una gran aportació per la construcció amb terra. Aportació que ha fet que actualment la construcció amb terra no hagi arribat a tenir menys presencia en el marc actual.

Actualment, tot i que en gran part del planeta es té una visió que la terra com a material constructiu simbolitza pobresa, utilitzat principalment en zones subdesenvolupades. A poc a poc aquesta visió va canviant, es van reconeixent totes les seves qualitats, amb principal èmfasi les que van en relació amb la poca energia necessària tant en el seu procés d'extracció, transport, construcció i reutilització.

1.2.2 Marc normatiu

Tot i ser un material tradicional i la reintroducció cada cop major de la terra com a material de construcció en les edificacions modernes, fins fa poc no hi havia cap normativa que regulés aquest sistema constructiu.

La primera a aparèixer en el nostre estat va ser l'**UNE 41410** l'any 2008 ⁽¹²⁾. Aquesta se centra en el BTC (Bloc de Terra Comprimida) i engloba des de la selecció de sòls, les especificacions, definicions i mètodes d'assaig a realitzar.

L'any 2010 també es va generar una guia per al compliment del CTE en edificis de terra, desenvolupat pel Ministeri d'Habitatge i l'Institut de Ciències de la Construcció Eduardo Torroja ⁽¹⁴⁾.

Tot i això, el CTE és un document que imposa uns objectius, però deixa llibertat en els possibles mecanismes a utilitzar per arribar a complir-los ⁽¹³⁾. Això fa, que la poca informació respecte a la construcció amb terra, permeti una llibertat tant pels arquitectes com pels constructors, per dur a terme una certa experimentació en les seves obres desenvolupades amb terra ⁽¹⁴⁾.

(12)UNE 41410, «Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques Definiciones, especificaciones y Métodos de ensayo», diciembre 2008

(13)Algorri, E.: «La construcción con tierra en el Código Técnico de la Edificación». Más es menos, Construir en Barro. Una Arquitectura de Futuro (2009). Centro de Estudios Benaventanos Ledo del Pozo. ISBN: 978-84-936651-4-2.

(14)Anna Altemir, «Earthen construction in the 21st century», 2011

1.2.3 Característiques bàsiques

[15]Arquitectos sen fronteras, «Ficha Técnica: Sistema Constructivo Adobe/tapial»

La terra és un material natural, extret del mateix sol. La composició d'aquest dependrà dels diferents factors que l'han anat alterant al llarg del temps. En observar que conforma el que anomenem terra podem observar quatre grans tipologies de grans: Graves, Sorres, Llims i Argiles. La diferència entre aquests grans és definit per la mida d'aquest, sent: **Graves (>2 mm), Sorres (2-0,06 mm), Llims (0,06-0,002 mm) i Argiles (<0,002 mm)**. Si la terra no és extreta sota una cota inferior de 40-100 cm és possible que ens aparegui matèria orgànica dins el conjunt (matèria no desitjable en la construcció amb terra)⁽¹⁵⁾.

Exceptuant els llims, les argiles, les sorres i les graves tenen una gran importància en la construcció en terra, ja que depenent de la relació de cada un d'ells en la barreja, proporcionaran diferents característiques al resultat final.

Argiles: a causa de les seves propietats cohesives, tenen la funció d'aglomerant dins la barreja, a més a més les argiles en entrar en contacte amb aigua passen fàcilment a un estat plàstic, característica que permet donar forma a la barreja.

Graves i Sorres: són les encarregades de proporcionar la resistència mecànica al conjunt, fent-lo capaç de suportar diferents esforços.

[16] I. Jesús, «Arquitectura con Tierra Cruda en el Siglo XXI», TFG, juny 2019

A part de les característiques per separat dels diferents components de la terra, aquesta en funció de la seva proporció també presenta un seguit de qualitats interessants, que fan de la terra un material òptim per a la construcció ⁽¹⁶⁾.

Higrotermia: la terra crua és capaç de generar un intercanvi d'humitat amb l'entorn, ja que és un material higroscòpic. Aquesta propietat porta al fet que els espais definits per algun tancament de terra acabin sent més higiènics i saludables, a més a més, ajuda a mantenir el grau d'humitat de fustes o altres components d'origen orgànic amb una humitat relativa baixa, evitant així que proliferin agents orgànics en el seu interior.

Inèrcia tèrmica: les construccions amb terra tenen un bon comportament tèrmic, a causa de la seva capacitat d'emmagatzemar energia calorífica. Les conductivitats tèrmiques depenent del sistema constructiu utilitzat, però oscil·len entre 0,64-1,03 W/mK (amb densitats entre 1700-2100 kg/m³).

Acústica: a causa de la seva elevada densitat i als grans gruixos els quals arriben els diferents sistemes constructius, fan que els murs fets de terra tinguin un bon comportament acústic. A més a més, la porositat i la textura irregular ajuden a l'absorció del so, rebaixant així el temps de reverberació dins l'espai.

Resistència al foc: a causa de la seva gran estabilitat enfront altes temperatures té un gran comportament al foc en cas d'incendi.

Resistència a la intempèrie: l'aigua és la principal font de desgast de les construccions amb terra crua, tot i les seves qualitats higroscòpiques s'ha d'evitar que s'humitegi sistemàticament, ja que pot accelerar la degradació. La terra crua no és un material impermeable, també s'ha de procurar protegir els murs contra pluges, gelades o esorrenties (per aquest motiu sempre es recomana fer una bona sabata i un bon barret).

Resistència mecànica: tot i tenir unes qualitats mecàniques bastant bones, l'argila cuita és capaç de suportar moltes més carregues, per aquest motiu sovint podem veure reforços fets amb argila cuita.

Comportament en sismes: la terra crua és un material que treballa principalment a compressió, per aquest motiu té unes pressions menors a l'hora d'enfrontar-se als esforços horitzontals produïts per un sisme, tot i això, en zones afectades per sismes s'han desenvolupat tècniques constructives capaces de donar-hi resposta.

1.2.4 Estabilitzant

Un cop explicades les característiques bàsiques de la terra, podem observar com aquesta presenta certs inconvenients, els quals poden arribar a tenir solució o mitigar el seu impacte. Aquests inconvenients principalment són el seu comportament enfront l'aigua i l'abradió, la seva estabilitat volumètrica en el procés d'assecatge i la seva resistència a compressió en el cas que no sigui suficient.

(17)J. Hernández, «Construcción con Tierra: Análisis, conservación y mejora», juny 2016

Al llarg de la història s'han desenvolupat diferents mecanismes per millorar el comportament de la terra en aquests aspectes, aquests mecanismes s'anomenen «estabilitzants», i es classifiquen en mecànics i fisicoquímics ⁽¹⁷⁾.

L'estabilització mecànica consisteix en la compactació de la barreja, és un mecanisme que trobem en moltes de les tècniques constructives tradicionals, tot i que té més presència en zones de climes secs, és una estratègia àmpliament utilitzada per reduir el grau de porositat de la construcció i augmentar la seva resistència a esforços de compressió.

L'estabilització fisicoquímica consisteix a afegir diferents additius a la barreja, els quals aportin noves qualitats a aquesta, i poder fer front i millorar les seves mancances. Actualment, els principals additius fets servir en la construcció amb terra són les **fibres vegetals, la calç, el ciment i el guix** ⁽¹⁸⁾. Tot i que si observem construccions tradicionals arreu del planeta, podem observar que hi ha una gran quantitat d'additius possibles, els quals milloren les propietats de la terra com: la clara d'ou, la llet sencera, excrements d'animal, la sang animal, resines...

(18)G. Barbeta, Mejora De La Tierra Estabilizada En El Desarrollo De Una Arquitectura Sostenible Hacia El Siglo XXI, Tesis Doctoral, 2000

1.2.5 Mecanismes d'assaig

Hem de ser concents de quines són les característiques concretes de la terra que tenim a les mans abans d'aplicar-hi cap element nou, els estabilitzants a part de millorar les seves propietats, poden fer que la terra perdi una de les seves principals qualitats, com la reciclabilitat.

Una terra en concret, pot arribar a augmentar un **68,4% la seva capacitat resistent, únicament millorant la seva corba granulomètrica** i sense recórrer a estabilitzants químics ⁽¹⁹⁾.

(19) Nova Scientia, "Optimización del proceso de elaboración de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) mediante el control granulométrico de las partículas del Suelo", setembre 2021

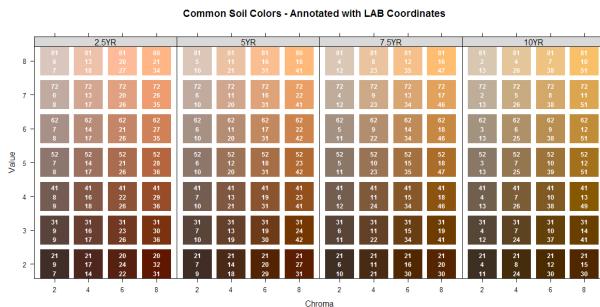
Per aquest motiu és necessari conèixer les eines i mecanismes per identificar quines són les propietats concretes d'una determinada terra, i si l'ús d'agents estabilitzants és necessari.

En trobar-nos amb una terra, en primer lloc, podem fer uns primers assajos organolèptics, aproximacions a la seva composició a partir dels sentits⁽¹⁷⁾.

Olfacte: si humitegem el terreny, el deixem assecar i aquest desprèn mala olor, podríem dir que estem davant un terreny amb elements de matèria orgànica.

Vista: A partir de la primera impressió d'un determinat terreny, podem obtenir bastanta informació d'aquest. Si observem petites escletxes en el terreny humit, podem deduir que estem davant un terreny amb una gran quantitat d'argila, ja que aquesta no suporta bé els esforços de tracció, generats en el procés de retracció, per l'evaporació d'aigua del terreny. A més a més, en observar el color del terreny podem extreure un seguit de possibilitats de la seva composició, agafant com a guia el Triangle de Ferret i la taula de Munsell (imatge 5).

(19) Munsell, <https://spadarian.github.io/app/example/2016/12/14/munsell-soil-colors-LAB>



Imatge 5 (19)

Tacte: si humitegem una mica el terreny i ens el posem entre les mans, també podem treure conclusions de la seva composició. Si notem un tacte aspre i una mica cohesiu podríem dir que estem davant un terreny llimós, en canvi, si no és gens cohesiu diríem que és un terreny arenós, i per acabar si la textura és plàstica i enganxosa diríem que és un terreny argilós. Finalment, si en netejar-nos les mans no ens costa gens, podem afirmar que és arenós, si ja ens costa una mica, i notem com si fos pols, afirmem que és llimós. En últim lloc, si ens costa bastant de netejar, i es forma una sensació sabonosa, afirmem que és argilós (mentre més complicat de netejar sigui les argiles seran més expansives amb el seu contacte amb l'aigua).

Gust: en mastegar una mica del terreny a analitzar, podem obtenir altra informació, si aquest es desgrana i es mou lliurement per la boca, estem davant un terreny arenós, en canvi, si aquest s'enganxa a la llengua i produeix una sensació farinosa estem davant un terreny argilós.

Aquestes primeres impressions permeten generar una primera idea aproximada de la composició del sol, però estan subjectes a certa subjectivitat, per aquest motiu s'han desenvolupat certs assajos, també insitu per intentar objectivar una mica aquesta classificació ⁽¹⁷⁾.

Retracció: es fa una caixa de fusta engassada d'unes dimensions controlades, s'hi diposita el sòl humit lleugerament compactat i es deixa assecar, al cap d'uns dies és cloca tot el material cap a un extrem i es mesura la quantitat que falta per arribar al final de la caixa i es coneix el seu índex de retracció (la màxima admissible per murs exteriors és d'1,67%).

Sedimentació: es tracta d'omplir un quart d'una ampolla amb la terra a analitzar, la resta amb aigua, s'hi posa una cullerada de sal, es barreja i es deixa en reposar aproximadament una hora, ja que els diferents components de la terra sedimenten diferent, podem observar les graves i sorres a la part inferior i els llims i argiles a la superior, llavors mesurant les diferents altures podríem saber la composició del nostre sol (si les argiles superen el 12%, es considera sòl argilós). Si es veuen elements foscos flotant a l'aigua, corresponen a la matèria orgànica, cosa que faria que la terra no sigui apta per a la construcció i que s'ha d'agafar de més profunditat.

Tall: es fa una bola amb la terra humida, aquesta es talla amb un ganivet, si el tall queda mate, vol dir que el terreny és llimós, si queda brillant és que és argilós.

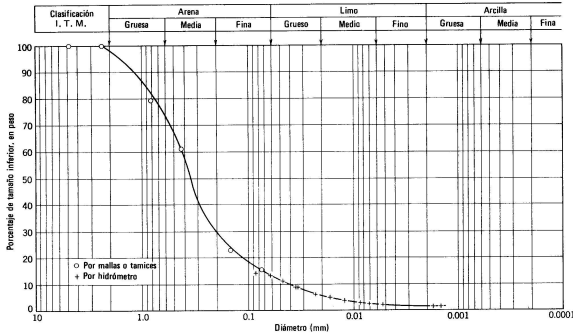
Bola: aquest estudi és únicament utilitzat, per la realització del Tapial i BTC, ja que el seu grau d'humitat és d'entre el 10-12%, es tracta de fer una bola d'aproximadament 5 cm de diàmetre amb la massa humida, deixar-la caure des d'una altura aproximada d'1,2 m. Si la bola es desintegra en caure és que hi ha poca humitat a la barreja, si es manté unida és que n'hi ha massa, i si es trenca en 3-4 parts és que té la humitat justa.

En últim lloc, s'han desenvolupat uns estudis duts a terme en laboratoris per obtenir un major grau d'objectivitat que amb els estudis anteriors.

Granulometria: A partir d'un procés de tamisatge, que consisteix a fer passar el sol per diferents filtres amb diferent grau d'obertura, s'aconsegueix realitzar la corba granulomètrica d'aquest. A partir d'aquesta, podem determinar la proporció de cada un dels components del sol. A partir d'unes grans quantitats d'assajos s'ha desenvolupat una corba base (imatge 6), la qual representa la composició ideal per al millor comportament a compressió d'un sol, com més semblant sigui la corba del sol analitzat a aquesta corba base, millor serà el seu comportament (aquesta composició ideal pot variar depenent del sistema constructiu utilitzat).

Límit líquid: estudi realitzat amb la Cullera de Casagrande, que a partir de la repetició de diferents impactes es pot deduir l'índex de plasticitat, el límit líquid i plàstic de la terra a analitzar.

(20) Corba granulomètrica, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1295519>



Imatge 6 ⁽²⁰⁾

Proctor: a partir del qual sabem la humitat òptima necessària per a la bona compactació de la barreja, a més de la seva resistència a esforços a compressió.

1.2.6 Tècniques constructives

Com s'ha comentat anteriorment, la terra és un dels principals materials constructius utilitzats tradicionalment arreu del nostre planeta. Per adaptar aquest material a les diferents circumstàncies i necessitats de cada regió, s'han desenvolupat una gran quantitat de tècniques constructives diferents, per donar resposta a aquestes casuístiques. Les principals diferències que podríem observar entre les diferents tècniques, són: en primer lloc la finalitat a la qual van dirigides, en segon lloc, les condicionants materials de la regió, la tipologia de sol, i per acabar, les raons ambientals com el grau d'humitat necessari, l'accessibilitat a l'aigua i les necessitats bioclimàtiques dels tancaments.

A causa d'aquesta gran quantitat de variacions entre els diferents condicionants, es van acabar perfeccionant diferents tècniques constructives pròpies en cada regió.

Aquesta tècnica és capaç d'assumir una gran variació en la composició de la terra.

En el procés de modular destaquem principalment la tècnica del COB:

COB: Tècnica constructiva la qual consisteix a anar formant boles de terra i anar apilant-les l'una sobre l'altre fins a acabar conformant un mur.

És una tècnica utilitzada principalment en climes humits. La podem trobar principalment a Anglaterra, França i algunes regions d'Àfrica. La composició de la barreja és principalment argilosa (20-60%) i a vegades s'hi agreguen fibres vegetals per reduir la seva retracció, en el moment d'aplicació es pressiona la barreja amb les mans, a la que se li va agregant aigua fins a arribar a una massa plàstica homogènia (humiditat 20-30%).

En el procés de compactació destaquem principalment les tècniques del BTC i el Tapial.

BTC: es tracta de la formació d'una peça en forma de maó a partir de la compactació d'una barreja de terra.

En ser una tècnica pensada per a la construcció de murs portants, es fa servir normalment una terra arenosa, ja que la sorra és el component que li proporciona la capacitat resistent, a més a més, sovint se li afegeix algun tipus d'estabilitzant (5-10%) de calç, ciment o guix, per encara millorar més aquesta. La barreja no ha d'estar ni molt seca ni molt humida (12-15%).

Tapial: es tracta de generar un mur monolític, a partir de terra encofrada premsada. La terra utilitzada principalment és de composició arenosa per proporcionar capacitats resistents al mur, sovint també s'hi agrega un agent

estabilitzant (5-10% de calç, ciment o guix,) per a millorar més aquestes. La humitat ha de ser moderada (12-15%).

Aquesta tècnica accepta diferents variacions per anar millorant tant les seves capacitats resistents, com el seu comportament enfront l'intempèrie (aigua), com per exemple el calcosilicat entre d'altres.

En el procés d'abocar destaquem principalment la tècnica de la Terra Abocada:

Terra Abocada: és una tècnica la qual té un funcionament i comportament molt similar al del formigó, en què en lloc del conglomerant (ciment) es fa servir l'argila com a aglomerant. Sovint es fan servir agents estabilitzants per a millorar la seva capacitat resistent, el seu comportament a l'intempèrie i el seu temps d'assecatge.

En el procés d'aplicar correspondria a tot el camp de revestiments i arrebossats amb terra:

Revestiments: és una tècnica que consisteix a anar aplicant fines capes de terra sobre un suport amb la intenció de generar un acabat. La barreja canvia depenent de la tipologia d'acabat i de la capa d'aplicació, però principalment les barreges estan conformades per argila, sorres fines i en alguns casos fibres vegetals o algun agent estabilitzant. A causa de la gran quantitat de possibilitats i combinacions que dóna aquesta tècnica, s'han subcategoritzat altres metodologies constructives amb finalitats de resoldre situacions concretes, com el Tadelakt entre d'altres.

2. Objectius

La situació que estem vivint actualment de crisis múltiples, en què el medi ambient i els recursos naturals estan en perill, ens porta a pensar que hem de fer un canvi urgent cap a un model social més respectuós i conscient amb l'entorn que ens envolta.

Tot i l'emergència de la situació actual, aquesta també ens proporciona una oportunitat per desenvolupar sistemes i dinàmiques socials que aportin un valor afegit a la nostra societat.

Com hem comentat al principi, la construcció és responsable de la producció del **30% dels residus mundials, dels quals el 60% corresponen a terres excavacions**⁽⁴⁾. Per aquest motiu el desenvolupament del reciclatge de terres d'excavacions i la construcció amb terra, o més ben dit la seva recuperació, podria ser un d'aquests àmbits, en què per un costat permet aplicar i donar resposta a molts dels paràmetres de sostenibilitat d'avui en dia i necessaris en un futur. A més a més, permetria fomentar dinàmiques socials, enfocades amb la relació i ecodependència amb l'entorn.

Aquest TFG intenta ser una d'aquestes iniciatives, un primer pas per possibilitar la reutilització de terres d'excavacions ara considerades un residu.

(4) Informe Symonds, "Construction and Demolition waste management practices and their economic impacts", febrer 1999, Comissió Europea

Com hem pogut veure al llarg de la introducció del treball, hi ha diferents condicionants a tenir en compte a l'hora d'implementar un sistema de reutilització de terres residuals d'excavacions en matèria primera per a la construcció.

En primer lloc, tenim els condicionants derivats de la mateixa construcció amb terra, on trobaríem la composició específica d'aquesta, on hem de tenir en compte la granulometria i la tipologia d'argila, la plasticitat necessària a l'hora de fer la barreja, la finalitat per a la qual va destinada la construcció i la infraestructura necessària per a la seva execució.

En segon lloc, tenim els condicionants derivats del procés de reciclatge de la terra, en què apeixarien variables com la possible contaminació d'aquesta, el seu possible tractament i la infraestructura necessària per a aquest, el transport i la quantitat tant de possibles punts d'origen d'aquesta, com del volum que generen.

A causa de la gran dificultat d'aprofundir i donar resposta a tots aquests condicionants en el marc d'aquest treball, aquest, es centrarà en afrontar, parametritzar i analitzar la **viabilitat de la possible implementació d'un sistema de reutilització de terres residuals d'excavacions com a matèria primera en la construcció**, únicament centrant-nos en la variable de la granulometria.

Per així concloure si valdria la pena **desenvolupar, en un futur, un estudi més exhaustiu per al desenvolupament de la resta de variables** i com aquestes condicionarien un possible sistema de reutilització de terres d'excavacions com a matèria primera en la construcció, i la **possible creació d'un pla estratègic per a la implementació d'aquest sistema en el nostre territori**.

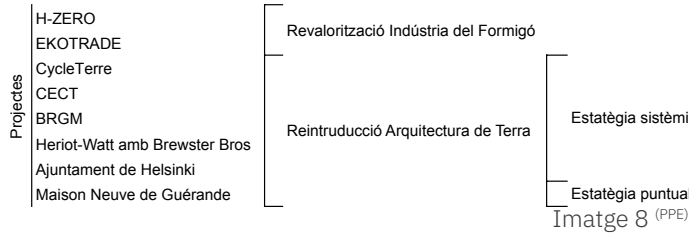
3.Reutilització de terres d'excavacions

Abans de concretar uns objectius i metodologia clara a seguir, per aconseguir els objectius del treball, cal observar projectes que hagin dut a terme iniciatives similars, per tenir en compte dels principals condicionants i variables que han hagut d'enfrontar per a tirar endavant la seva pràctica.

3.1 Antecedents

Actualment, hi ha poques iniciatives que apostin per l'aprofitament d'aquest recurs, tot i que a poc a poc, tant en el marc internacional com local van apareixent cada vegada més iniciatives en aquesta línia.

Gran part d'aquestes iniciatives es podrien classificar en dos grans grups, les que duen a terme aquest reciclatge de terres, per reconvertir-lo en àrid reciclat per a construccions amb formigó i asfalt, i les que fan aquest reciclatge per a la posterior fabricació de materials amb base de la mateixa terra (imatge 8).



(22) H-Zero, <https://www.hercal-zero.es/>

(23) EKOTRADE, <https://ekotrade.eus/>

En el primer grup tenim empreses locals com **H-ZERO** ⁽²²⁾ i **EKOTRADE** ⁽²³⁾ les quals es presenten com plantes de revalorització i neteja de residus procedents de la construcció. La seva activitat consisteix a recollir residus que anirien en un abocador, fer el tractament necessari, i convertir-los altra vegada en una matèria primera per a la construcció. La seva finalitat bàsicament és donar resposta a la demanda de sorres i graves per a la construcció amb formigó i asfalt amb aquests àrids reciclats, i així reduir a la vegada la demanda d'àrids naturals i la seva explotació.

En el segon grup tenim una gran diversitat de projectes. En contraposició al grup anterior, aquests no es troben dins l'estat espanyol, per aquest motiu, i buscant la màxima proximitat, s'han analitzat projectes dins el marc europeu, encara que fora d'aquest podríem trobar altres iniciatives. Aquest grup es podria dividir en iniciatives que donen respostes puntuals o respostes a gran escala a una determinada situació.

(24) Maison Neuve de Guérande, <https://www.ville-gue-rande.fr/mairie-vie-municipale/grands-projets/ecoquartier-maison-neuve>

En el cas de respostes puntuals, hi ha una gran quantitat de projectes, però pocs prenen la importància necessària per suposar un impacte fora dels seus propis límits. Aquest és el cas del projecte **BRUDED** a l'exemple de l'ecodistricte **Maison Neuve de Guérande, França** ⁽²⁴⁾.

Aquest és un projecte d'ampliació del parc edificat de la ciutat de Guerande, que es va iniciar l'any 2007 i es preveu que acabi el 2030. Pretén donar cabuda a unes 1700 famílies en diferents edificis, tots aquests han estat fets amb diferents amb la mateixa terra del lloc, procedent de diferents excavacions, i s'han utilitzat diferents tècniques constructives amb terra com Adobe, BTC i COB, adaptant-se tant a la terra disponible com als requisits dels diferents tançaments dels edificis.

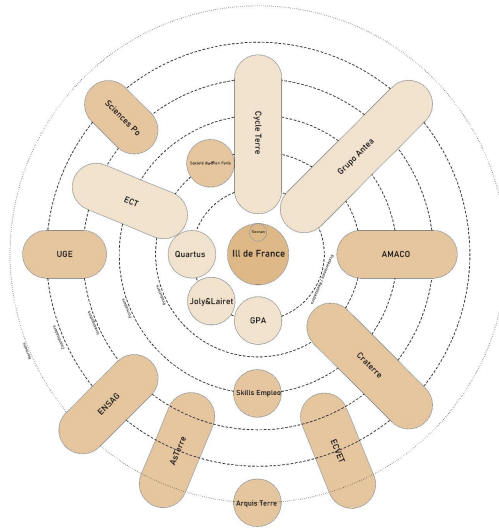
En el cas de respostes a gran escala observem els projectes en l'àmbit francès de **Cycle Terre, ECT i BRGM**, en l'àmbit escocès un projecte fruit de la unió de la universitat **Heriot-Watt amb Brewster Bros** i en l'àmbit finlandès la iniciativa coordinada per l'**Ajuntament de Helsinki**.

Actualment, a França hi ha una gran quantitat d'agents relacionats amb el sector del reciclatge de terres d'excavacions i amb la construcció amb terra (imatge 9). **Cycle-Terre**⁽²⁵⁾ i **ECT**⁽²⁶⁾ es presenten com una de les entitats que duen a terme aquest reciclatge de terres d'excavacions i la seva transformació com a matèria primera en la construcció.

(25) Cycle-Terre, <https://www.cycle-terre.eu/>

(26) ECT, ect.com/

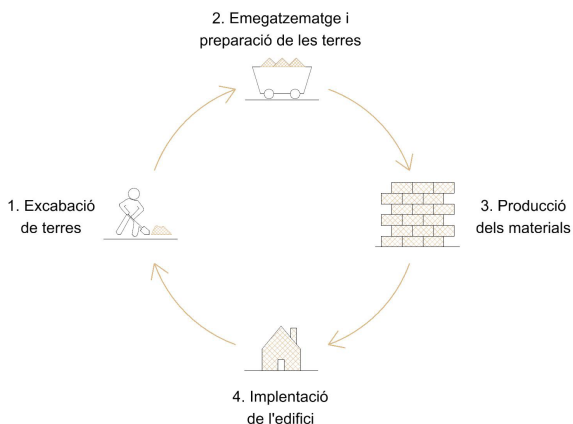
Tenen el valor afegit, que la terra que utilitzen prové del reciclatge de diferents terres d'excavacions. La seva funció dins de la xarxa francesa, a més de dur a terme activitats d'investigació i formació, bàsicament es dediquen a fer el tractament, transformació, venda i distribució de les terres d'excavacions que els arriben. Tot això ho duen a terme a la seva fàbrica ubicada a Servan, una de les principals zones en creixement urbà properes a París actualment.



Imatge 9 (PPE)

Aquest emplaçament estratègic, i el fet de formar part d'aquesta xarxa és el que els ha permès desenvolupar la seva pràctica. La xarxa els ha proporcionat les oportunitats necessàries per entrar en col·laboració amb el govern d'Ile de France, el qual a causa de l'actual expansió del teixit metropolità de París està duent a terme grans obres d'infraestructura. Com per exemple l'ampliació del metro, principal font d'obtenció de terra per a la fàbrica de Cycle-Terre, i el gran número de noves promocions d'habitatge que s'està produint a **Servan**, principal destinatari dels productes de la fàbrica (imatge 10).

Aquesta col·laboració els ha permès a poc a poc anar guanyant estabilitat, tot i la gran inversió inicial encara no són rentables, a poc a poc van consolidant la seva pràctica i mostrant-la com una possibilitat dins la societat francesa.



Imatge 10 ^(PPE)

El cas de **BRGM** ⁽²⁷⁾ es força diferent, participa més en l'ambient institucional, es presenten com una empresa destinada al reciclatge de terres d'excavacions, especialitzada en les possibles problemàtiques amb les terres contaminades. Es dediquen a fer assessories, desenvolupar metodologies i dur a terme formacions per implementar aquesta pràctica, entesa com el reciclatge de terres d'excavacions i el seu adequat anàlisi i tractament.

Centren la majoria dels seus esforços en el reciclatge de terra destinat a la construcció vies rodades amb aquest recurs reutilitzat ⁽⁵⁾.

El projecte escocès fruit de la unió de la universitat **Heriot-Watt amb Brewster Bros** ⁽²⁸⁾, consisteix, en primer lloc, en crear la primera planta de tractament de sòls perillosos d'Escòcia. A partir de la qual generar una investigació amb l'argila reciclada, la qual preveuen que serà un 25% del residu tractat, per veure la viabilitat d'utilitzar-la com a material constructiu i si és capaç de donar resposta a les nostres neces

(27) BRGM, <https://www.brgm.fr/en>

(5) Blanc Céline, Darmendrail Dominique, Rouvreau Laurent, Boissard Geoffrey, Scamps Mathilde BRGM, «REUSE OF EXCAVATED SOILS / TOOLS DEVELOPED AS PART OF THE FRENCH SOIL MANAGEMENT FRAMEWORK», octubre 2012

(28) M. Hancock, "Research to create new materials from excavated clay launched", març 2021

(29) A.Wijkman "Climate KIC's Circular City Project Fast-tracking zero-waste city systems", novembre 2018

sitats socials actuals, per aconseguir aquests resultats pretenen utilitzar com estabilitzants altres residus del món de la indústria i la construcció com seria l'asfalt reciclat o les cendres de forns incineradors.

En últim lloc, tenim la iniciativa de l'**Ajuntament de Hèlsinki** ⁽²⁹⁾, i dirigida pel seu departament de Medi Ambient Urbà a Hèlsinki. Aquesta iniciativa pretén generar òrgan coordinador, que doni indicacions de com i quina és la millor manera de reciclar els residus d'excavacions de sòls urbans. En data del 2019 indicaven que havien **estalviat 17.100 tones de CO₂, 47 milions d'euros i 6,9 milions de litres d'aigua.**

3.2 Valoració antecedents

Com hem pogut observar hi ha una gran quantitat d'agents relacionats tant en el reciclatge de terres d'excavacions com en la seva transformació en matèria primera.

Tot i l'afecte positiu de l'aparició i desenvolupament de tots aquests agents, no hem de deixar de ser crítics amb la nostra societat i identificar els seus punts forts i febles com a solució a l'emergència climàtica que vivim actualment.

Els projectes com H-ZERO i EKOTRADE, els quals centren els seus esforços en la reutilització de residus del món de la construcció per a la seva transformació en àrids reciclats principalment per a la indústria del formigó. Aquest procés té els seus punts forts i dèbils. Com hem comentat anteriorment la indústria del formigó és responsable del 8% de les emissions globals. Aquest tipus d'iniciativa és un primer pas en la reducció d'aquestes preocupants dades, però com hem comentat el principal responsable d'aquestes, és el ciment i la seva producció.

Així que lluny de negar la positivitat d'aquestes iniciatives, sobretot pel que fa a la reducció de l'impacte ecològic i mediambiental de l'extracció dels àrids, podem dir que encara estem en un primer pas cap a la solució.

Seria una imprudència demanar una nul·la utilització del ciment, ja que en determinats casos és un material essencial per a la tipologia de construccions a la que estem acostumats, sobretot en els elements constructius ubicats en cotes subterrànies, com la fonamentació o soterranis. En canvi, sí que seria possible canviar el ciment, fet servir com a conglomerant, en els elements en cotes sobre rasant, i substituir-lo per altres conglomerants amb menys impacte o amb alguns aglomerants com l'argila.

El cas dels projectes dedicats a la transformació de terres residuals del món de la construcció per a la seva posterior transformació en nus materials amb base de la mateixa terra. Trobem una gran varietat d'iniciatives, que afronten aquesta problemàtica comuna, en funció de les seves casuístiques pròpies.

Aquesta tipologia d'iniciatives és molt beneficiosa, ja que estan permetent crear antecedents i les primeres bases per al futur desenvolupament del sector.

Tot i la intenció de gran part d'aquestes iniciatives en desenvolupar un sistema adaptat al material, en lloc d'adaptar el material al sistema. Sovint molts dels projectes acaben sacrificant valors de la mateixa construcció amb terra, com la versatilitat, en però de la seva viabilitat dins la nostra societat.

En general totes aquestes iniciatives són beneficioses i són un gran pas per a la nostra actual societat, però quan observem els objectius que ens hem marcat per al futur encara ens falta molta feina a fer.

«L'argila reciclada és un material emocionant però actualment inexplorat que podria reduir significativament els residus que enviem a l'abocador cada any. No obstant això, queden moltes barreres que impedeixen que els residus de les indústries principals com la construcció s'utilitzin millor, inclosa la manca de coneixement científic sobre la composició del material i els criteris per al seu ús establerts...» ⁽²⁸⁾
Gabriela Medero

4. Desenvolupament de l'estudi

Com s'ha comentat anteriorment, per determinar la necessitat de desenvolupar un sistema de reciclatge de terres per a la seva transformació com a matèria primera. En aquest treball es desenvoluparà un estudi **per a la valoració de la viabilitat d'aquesta iniciativa de revalorització de residus**, únicament tenint en compte el paper que juga la variable de la granulometria dins de tot el procés de reutilització.

4.1 Metodologia

Per dur a terme aquest estudi, primer de tot és necessari tenir unes nocions bàsiques sobre la construcció amb terra, desenvolupades anteriorment en aquest treball.

Per aconseguir una conclusió representativa de la possible necessitat de desenvolupar el pla descrit anteriorment, és necessari dur a terme aquest estudi amb dades concretes del nostre territori.

En primer lloc, s'ha reunit la informació necessària, que tenint en compte únicament la granulometria de la terra, condicionen el procés de reutilització d'aquesta.

En segon lloc, aquesta informació es posen en relació, per acabar obtenint dades prou representatives per a treure conclusions.

En tercer lloc, la interpretació d'aquestes dades. Que permeti fer una valoració de la necessitat de desenvolupar la resta de variables, per al desenvolupament d'un sistema de reciclatge de terres per a la seva transformació com a matèria primera en el camp de la construcció.

4.2 Recopilació de dades

Actualment, tenim a disposició una gran quantitat d'informació sobre els principals condicionants a tenir en compte per a la construcció amb terra i el reciclatge d'aquesta. Aquesta informació sovint és molt dispersa i difícilment accessible, així que, el primer pas, consistiria a filtrar reunir gran part d'aquest coneixement.

En l'actualitat, associacions com CRATerre estan desenvolupant aquesta funció, així que la cooperació futura, en cas que sigui necessari, amb entitats ja en funcionament, seria essencial per al correcte desenvolupament del pla.

4.2.1 Tècniques constructives i granulometria

A falta d'una font d'informació que **relacioni la corba granulomètrica específica d'una determinada terra amb un sistema constructiu** determinat. S'ha desenvolupat un recopilatori de diferents documents els quals determinen una composició específica de la terra en relació amb diferents tècniques constructives (Taula 1).

A causa de la dificultat de trobar fonts d'informació que relacionin aquestes dues dades per a totes les tècniques constructives, només s'han pogut desenvolupar aquestes tres tècniques constructives, **l'Adobe, el BTC i el Tapial** (Taula X).

El cas dels revestiments, tot i haver trobat bastanta informació al respecte, a causa de la variació granulomètrica en funció de la finalitat del tancament o del número de capes d'aplicació les dades eren molt diverses i difícilment comparables.

El fet de treure una conclusió definitiva d'aquest recopilatori, seria poc representatiu de la realitat. A causa de la parcialitat i heterogeneïtat en l'origen de la informació, ha sigut impossible mantenir com a constant el tipus d'argila utilitzat en cada un dels projectes (variable que afectaria en el procés de caracterització i reutilització de la terra), així que és possible que aparegui una diferència entre la quantitat d'argila utilitzada en cada projecte, a causa de la seva capacitat de cohesió en lloc d'únicament per a la tècnica constructiva utilitzada.

Per aquest motiu la interpretació d'aquestes dades no busca extreure una resposta única, sinó poder **identificar un rang d'idoneïtat** d'una determinada relació granulomètrica amb una tècnica constructiva en concret.

(17)J. Hernández, «Construcción con Tierra: Análisis, conservación y mejora», juny 2016

(30) Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú, Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada, abril 2017”

(31)HB 195, The Australian earth building handbook, 2001

(32) J.Cid Falceto, Durabilidad de los bloques de tierra comprimida : Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción, Tesis Doctoral, 2012

(33) Instituto Eduardo Torroja, P.I.E.T 70, Obras de Fábrica, 1971

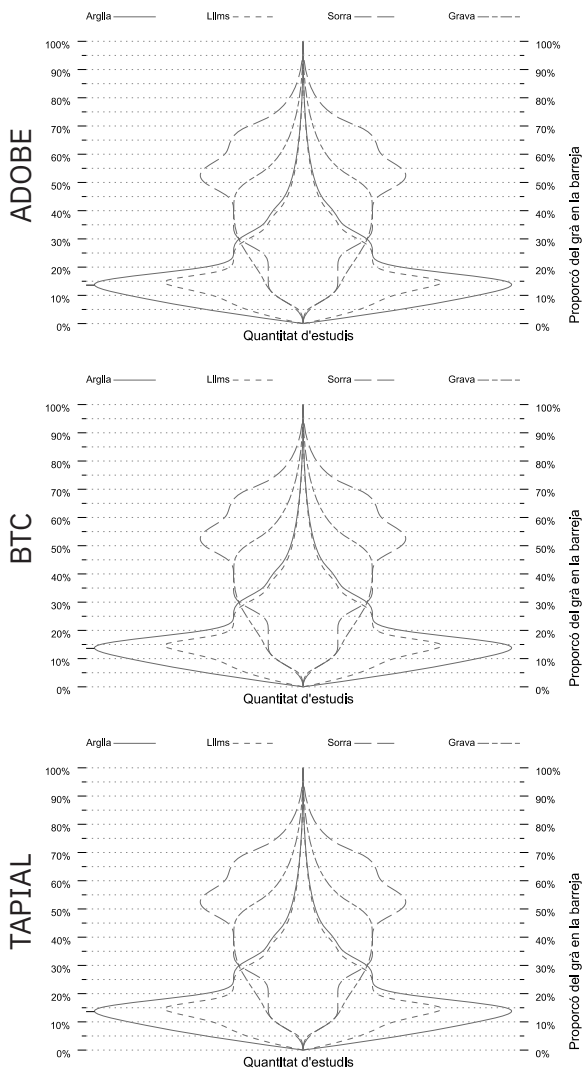
(34) NZS 4298:1998, Materials and Workmanship for Earth Buildings, 1988

(35) J.Cruz Ovalle, Bodega en los Robles, San Fernando, Chile, 2002

Projecte	Argila	Granulometria			Plasticitat
		Llims	Sorra	Grava	
2002 Bodega en los Robles, San Fernando, Chile, Arquitecto: José Cruz Ovalle. (35)	7%	25%	45%	23%	32-50
Barrios et al (1987) (17)	40%	40%	60%	60%	-
Paul Graham McHenry (1998) (17)	15%	32%	53%	53%	-
La arquitectura como material de construcción (17)	20%	20%	65%	-	-
Análisis De La Resistencia Mecánica Del Adobe estabilizado Con Cal Y Compactado Para Construcciones ecológicas-Económicas En Cajamarca (Cáceres Vásquez Kelvin Raphael) (17)	27%	207%	65%	-	-
Análisis De La Resistencia Mecánica Del Adobe estabilizado Con Cal Y Compactado Para Construcciones ecológicas-Económicas En Cajamarca (Cáceres Vásquez Kelvin Raphael) (17)	50%	50%	50%	50%	-
Norma E.080 (Perú 2017) (30)	17%	20%	53%	-	-
Houben. H (2006) (17)	29%	-	65%	-	-
Norma HB 195 (Australia 2002) (31)	-	-	-	-	-
UNE 41410 (Espanya) (12)	10-30%	10-40%	35-80%	0-45%	25-35
2002 Bodega en los Robles, San Fernando, Chile, Arquitecto: José Cruz Ovalle. (35)	10,00 %	15,00 %	25,00 %	50,00 %	25-50
Norma XP P13-901 (França) (17)	22,00 %	35,00 %	43,00 %	0,00 %	25-50
Norma HB 195 (Australia 2002) (31)	10-30%	-	-	-	25-50
Durabilidad de los bloques de tierra comprimida, Jaime Jesús Cid Falceto (32)	10-40%	10-30%	30-75%	30-75%	-
Houben. H (2006) (17)	48,00 %	48,00 %	48,00 %	6,00 %	20,3
Rigassi (1995) (17)	28,00 %	28,00 %	62,00 %	10,00 %	-
MOPT (ministeri d'obres públiques i transport, Espanya) (17)	60,00 %	60,00 %	38,00 %	2,00 %	-
Bazzano (1980) (17)	23,00 %	-	-	-	-
Doat y Houben (1982) (17)	8-30%	10-25%	25-80%	0-40%	-
2002 Bodega en los Robles, San Fernando, Chile, Arquitecto: José Cruz Ovalle. (35)	5-34%	-	-	-	-
Houben. H (2006) (17)	5,00 %	-	40,00 %	-	-
Norma SAZS 724 (Zimbabue) (17)	15,00 %	-	55,00 %	30,00 %	-
MOPT (ministeri d'obres públiques i transport, Espanya) (17)	10,00 %	15,00 %	25,00 %	50,00 %	23-43
Norma NMAC 14.7..4:2004 (EEUU) (17)	16,00 %	-	-	-	-
CRATerre (17)	5-15%	15-30%	50-70%	-	-
Piet 70 (33)	5-26%	-	-	-	-
Norma HB 195 (Australia 2002) (31)	30,00 %	-	70,00 %	-	-
Norma NZS 4298 (Nova Zelanda 1998) (33)	10-40%	20-40%	10-40%	10-20%	<40
Houben, H. and Guillaud, H. (2006) (17)	-	-	-	-	35-45
	8-16%	-	-	-	-

Taula 1

Per evitar aquest problema i mantenir el tipus d'argila com a constant. Aquest recopilatori de dades s'hauria d'efectuar en un estudi de laboratori en què es controlés el tipus de terra que es fa servir i s'observés la seva viabilitat per a cada tècnica constructiva.



Imatge 11 (PPE)

Els gràfics anteriors (imatge 11), **relacionen la quantitat de casos de referència que coincideixen amb una mateixa caracterització de la terra per cada tècnica constructiva.**

Aquests ens permeten deduir els rangs de relació entre grava, sorres, llims i argiles per a cada tècnica constructiva (taula 2).

	Argila		Llims		Sorra		Grava	
	Rang	Idoni	Rang	Idoni	Rang	Idoni	Rang	Idoni
Adobe	9-32%	23%	13-37%	28%	46-67%	41%	39-63%	55%
BTC	11-34%	25%	15-33%	25%	31-76%	52%	0-12%	5%
Tapial	4-21%	14%	5-30%	15%	28-70%	52%	25-50%	40%

Taula 2

Per augmentar la rigorositat d'aquests resultats, seria necessari continuar ampliant la base de dades iniciada o dur a terme l'estudi mencionat anteriorment, de tal manera que la quantitat de dades finals sigui una mostra prou significativa per a ser representativa i poder extreure conclusions finals.

4.2.2 Grans excavacions generadores de terra

En els pròxims anys, la Regió Metropolitana de Barcelona, patirà un seguit de grans transformacions en les seves infraestructurals de transport. Aquestes consistiran principalment en l'allargament o millora d'infraestructures existents i s'ubicaran majoritàriament a la perifèria de la ciutat de Barcelona(1) (imatge 12).



Imatge 12 (PPE)

Gran part d'aquestes actuacions consisteixen per una part en la prolongació de l'actual xarxa de metro de TMB, i per a l'altre en el soterrament de traçats actuals els quals suposen una barrera urbana per a les poblacions que travessen (taula 3).

	Distància (Km)	m3	Prof.	Estat
FGC L8. Perllongament Plaça Espanya – Gràcia	3,8	1193805	20-45	En planificció
Túnel de Rodalies a Montcada (R4)	2,5	785398	35	Parcialment executat
Perllongament de la L4 del metro fins a la Sagrera	2,3	722566	50	En planificció
Metro L9/L10. Zona Universitària – la Sagrera	9,3	2921681	50	Execució aturada
FGC L6. Reina Elisenda – Finestrelles	2,7	848230	18	Projecte informatiu
Metro L3. Zona Universitària – Sant Feliu	8,5	2670354	25	Projecte informatiu
Metro L2. Perllongament Sant Antoni – Parc Logístic	6,3	1979203	20	Projecte constructiu
Metro L1. Fondo – Badalona Centre – Renfe Badalona	4,5	1413717	20	Projecte informatiu

Taula 3 ⁽³⁶⁾⁽³⁷⁾

Totes aquestes actuacions, suposaran grans projectes de moviments de terres i excavacions al llarg del nostre territori. Aquesta és una gran oportunitat per al replantejament de la segona vida d'aquest material. Obre la possibilitat d'iniciar el canvi de paradigma i passar de considerar aquestes terres com un residu, a com un material amb potencial per a la seva reutilització.

(36) PLA DIRECTOR D'INFRAESTRUCTURES (pdI) 2021 – 2030, Barcelona, abril del 2021

(37) Pla d'Actuació Grup Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya, 2022 - 2026

4.2.3 Geotècnics

Actualment, no hi ha cartografies o dades globals prou específiques per identificar les diferències geofísiques (granulometria) entre els diferents sols del nostre territori.

Els **estudis geotècnics** duts a terme majoritàriament pel camp de l'edificació, són unes de les principals fonts d'informació que ens permeten accedir a aquestes dades tant específiques.

Aquestes dades s'extreuen per mitjà de diferents estudis de laboratori regits per unes determinades normes, com les UNE 103.103/94 i UNE 103.104/93 permeten identificar i definir l'índex de plasticitat o límits d'Atterberg, i l'UNE 103.101/95 permet identificar la composició granulomètrica.

Per a la correcta identificació i cartografització de la composició de les terres presents al llarg del recorregut de les diferents excavacions, seria necessari desenvolupar un seguit d'estudis geotècnics al llarg de la ruta, per així obtenir les dades específiques per la caracterització concreta d'aquestes terres.

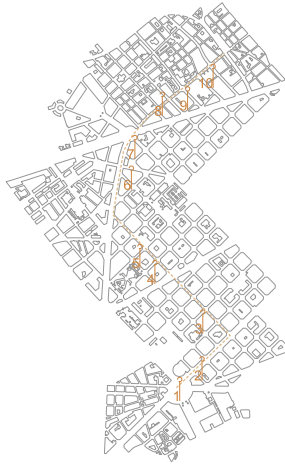
(38) Geoindex, <https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Herramientas/Visualizadores-Geoindex/Geoindex-Prospecciones-geotecnicas>

A falta dels recursos per desenvolupar aquests estudis i extreure així les dades necessàries, **l'ICGC** (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya) ha generat una gran base de dades pública (1) amb diferents estudis geotècnics georeferenciats que poden servir com a orientació per generar una hipòtesi inicial de la composició d'aquestes terres. La informació d'aquesta gran base de dades majoritàriament prové d'estudis realitzats pel mateix ICGC i altres entitats públiques, mentre en grau més baix diferents entitats privades que han facilitat aquestes dades.

4.3 Creuament de dades

Un cop recollides totes les dades de la relació de cada tècnica constructiva amb una granulometria concreta, els principals punts en què es preveu l'extracció d'una gran quantitat de terres, i la composició d'aquestes. Podem creuar tota aquesta informació per intentar obtenir unes dades representatives que ens permetin veure la necessitat d'establir un sistema de reciclatge de terres d'excavació per a la seva utilització com a matèria primera.

FGC L8. Perllongament Plaça Espanya – Gràcia



Imatge 13 (PPE)

El cas de l'ampliació del túnel de l'L8 de FGC de Plaça Espanya a Gràcia (imatge 13), la profunditat de les dades que ens proporcionen els estudis geotècnics correspon amb la profunditat de l'excavació (taula 4), així que podem valorar la possible idoneïtat de la terra per reaprofitar-se com a matèria primera en la construcció a partir d'una tècnica constructiva concreta (taula 5).

FGC L8. Perllongament Plaça Espanya – Gràcia

Nom	Cordenades			Prof.	Granulometria (% que passa)				lits d'Atterbi	
	X	Y	Z		>5	>2	>0,08	<0,002	LL	LP
1 GN_6795_SP-2	428881	4580815	26,6	20	100	100	58			No plastic
2 GN_7093_S-05	Gran Via 392		25,8	30	100	40	60			No plastic
3 GN_7062_S-1-1	429154	4581536	22,4	22	95	95	33	29	-	-
4 GN_1759_SP-6	-	-	-	30	100	99	73		32	19
5 GN_1754_L5-1	-	-	35,7	20	100	99	65		-	-
6 GN_7077_S-17	428473	4582428	42,5	30	100	100	97		52,7	20,6
7 GN_7063_S-20-2	428459	4582756	51,9	30	91	81	63		31,9	17,7
8 GN_6297_S-02	-	-	59,5	20	83	42	41			No plastic

Taula 4

FGC L8. Perllongament Plaça Espanya – Gràcia

Nom	Granulometria (% present)			
	Graves	Sorres	Llims	Argiles
1 GN_6795_SP-2	0	42		58
2 GN_7093_S-05	0	40	60	29
3 GN_7062_S-1-1	5	62		33
4 GN_1759_SP-6	0	27		73
5 GN_1754_L5-1	0	35		65
6 GN_7077_S-17	0	3		97
7 GN_7063_S-20-2	9	28		63
8 GN_6297_S-02	17	42		41
9 GN_7077_S-24	0	15		85
10 GN_7063_S-26-1	4	50		46
11 GN_7077_S-28	15	41		44
TOTAL	5	35		60

Taula 5

FGC L8. Perllongament Plaça Espanya – Gràcia

Nom	Adobe				BTC				Tapial				
	G	S	L	A	G	S	L	A	G	S	L	A	
1 GN_6795_SP-2		X	X		X	X	X	X	X				
2 GN_7093_S-05			X		X	X	X		X				
3 GN_7062_S-1-1		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
4 GN_1759_SP-6					X				X				
5 GN_1754_L5-1			X	X	X	X	X	X	X	X			
6 GN_7077_S-17					X								
7 GN_7063_S-20-2			X	X	X		X	X	X	X			
8 GN_6297_S-02			X	X	X	X	X	X	X	X	X		
9 GN_7077_S-24					X								
10 GN_7063_S-26-1		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
11 GN_7077_S-28			X	X	X	X	X	X	X	X	X		
TOTAL		X	X		X	X	X	X	X	X			

Taula 6

En aquest cas, la terra corresponent als trams 1,5,10 i 11, correspondria al rang granulomètric per a la tècnica constructiva de BTC.

Per maximitzar el reaprofitament de tota la terra, si es genera una barreja amb les terres de tota l'excavació la granulometria final respondria també al rang granulomètric de la **tècnica del BTC** (taula 6).

A més a més, en primer lloc, la granulometria de la terra extreta en els trams 3,8,10 i 11 està molt propera a la necessària per a la **tècnica del Tapial**. En segon lloc, la granulometria de la terra extreta en els trams 3 i 10 està molt propera a la necessària per a la **tècnica de l'Adobe**. Així que si s'afegís un percentatge concret de graves respectivament en cada terra extreta, es podrien dur a terme aquestes tècniques.

Túnel de Rodalies a Montcada (R4)



Imatge 14 (PPE)

El cas de l'excavació del nou túnel Rodalies a Montcada (imatge 14), la profunditat de les dades que ens proporcionen els estudis geotècnics **no correspon amb la profunditat de l'excavació**, així no es pot valorar la possible idoneïtat de la terra per reaprofitar-se com a matèria primera en la construcció a partir d'una tècnica constructiva concreta.

Seria necessari desenvolupar estudis més profunds i específics per a determinar la granulometria de la terra al llarg de l'excavació.

Perllongament de la L4 del metro fins a la Sagrera



Imatge 15 (PPE)

El cas de l'ampliació del túnel de l'L8 del metro de Barcelona fins a la nova parada de la Sagrera (imatge 15), la profunditat de les dades que ens proporcionen els estudis geotècnics **no correspon amb la profunditat de l'excavació**, així no es pot valorar la possible idoneïtat de la terra per reaprofitar-se com a matèria primera en la construcció a partir d'una tècnica constructiva concreta.

Seria necessari desenvolupar estudis més profunds i específics per a determinar la granulometria de la terra al llarg de l'excavació.

Metro L9/L10. Zona Universitària – la Sagrera



Imatge 16 (PPE)

El cas de l'excavació del túnel de l'L9/L10 del metro de Barcelona de Zona Universitària a la Sagrera (imatge 16), la profunditat de les dades que ens proporcionen els estudis geotècnics **no correspon amb la profunditat de l'excavació**, així no es pot valorar la possible idoneïtat de la terra per reaprofitar-se com a matèria primera en la construcció a partir d'una tècnica constructiva concreta.

Seria necessari desenvolupar estudis més profunds i específics per a determinar la granulometria de la terra al llarg de l'excavació.

FGC L6. Reina Elisenda – Finestrelles



Imatge 17 (PPE)

El cas de l'excavació del túnel de l'L6 de FGC de Reina Elisenda a Finestrelles (imatge 17), la profunditat de les dades que ens proporcionen els estudis geotècnics correspon amb la profunditat de l'excavació (taula 7), així que podem valorar la possible idoneïtat de la terra per reaprofitar-se com a matèria primera en la construcció a partir d'una tècnica constructiva concreta (taula 8).

FGC L6. Reina Elisenda – Finestrelles

Nom	Cordenades			Prof.	Granulometria (% que passa)				Índex d'Atterb	
	X	Y	Z		>5	>2	>0,08	<0,002	LL	LP
1 AP_0097_13_SR-L3-04	424852	4581686	115	20	95	91	33		33	23
2 AR_066_01_SM-050	425754	4582637	112,9	20	100	99	10		-	-
3 GN_3991_L6-06	425852	4582896	119	20	100	87	31		-	-
4 GN_3991_L6-04	426045	4583264	114,7	20	89	80	38		25,8	17
5 GN_6307_S-3	-	-	120,9	20	80	31	14		No plastic	

Taula 7

FGC L6. Reina Elisenda – Finestrelles

Nom	Granulometria (% present)			
	Graves	Sorres	Lims	Argiles
1 AP_0097_13_SR-L3-04	5	62		33
2 AR_066_01_SM-050	0	90		10
3 GN_3991_L6-06	0	69		31
4 GN_3991_L6-04	11	51		38
5 GN_6307_S-3	20	66		14
TOTAL	7	68		25

Taula 8

FGC L6. Reina Elisenda – Finestrelles

Nom	Adobe				BTC				Tapial				
	G	S	L	A	G	S	L	A	G	S	L	A	
1 AP_0097_13_SR-L3-04	X				X	X				X			
2 AR_066_01_SM-050					X								
3 GN_3991_L6-06					X	X				X			
4 GN_3991_L6-04		X			X	X				X			
5 GN_6307_S-3		X				X				X			
TOTAL					X	X				X			

Taula 9

En relacionar les diferents dades observem que la terra extreta d'aquesta excavació **no seria apta per a reaprofitar-se directament com a matèria primera en la construcció** (taula 9). Aquest resultat és a causa de la gran quantitat de sorres presents en el terreny. Més enllà que no es pugui reutilitzar directament, podria aprofitar-se per ajustar la corba granulomètrica dels altres casos d'estudis i així millorar el seu comportament a compressió.

Metro L3. Zona Universitària – Sant Feliu



Imatge 18 (PPE)

El cas de l'ampliació del túnel de l'L3 del metro de Barcelona de Zona Universitària a Sant Feliu (imatge 18), la profunditat de les dades que ens proporcionen els estudis geotècnics correspon amb la profunditat de l'excavació (taula 10), així que podem valorar la possible idoneïtat de la terra per reaprofitar-se com a matèria primera en la construcció a partir d'una tècnica constructiva concreta (taula 11).

Metro L3. Zona Universitària – Sant Feliu

Nom	Cordenades			Prof.	Granulometria (% que passa)				Índex d'Atterb	
	X	Y	Z		>5	>2	>0,08	<0,002	LL	LP
1 GN_1727_SIT-2	425912	4581818	67,6	25	74	53	23		28	19
2 AP_0097_13_SR-L3-02	425033	4581711	114,6	25	99	89	35		-	-
3 GN_3990_S-04	424466	4581652	114,8	25	71	64	32		32	22
4 AP_0097_13_SR-L3-15	423410	4581130	101,2	20	81	77	64		35,8	19,6
5 GN_3990_S-06	423377	4581606	110,7	25	76	57	21		28,9	22
6 GN_3990_S-08	422516	4581470	87,5	20	93	90	78		-	-
7 GN_3990_S-10	422169	4580152	50,3	25	85	70	33		26,5	18,2
8 GN_3990_S-11	421466	4580433	39,6	25	96	93	84		27,6	19
9 GN_2938_S-2	420430	4581042	20,8	20	100	99	90		28,6	20
10 GN_3990_S-12	421160	4581125	40,8	25	98	95	75		-	-
11 GN_6426_S-4	420206	4582223	35,2	25	65	62	25		-	-
12 GN_3990_S-B	420552	4582182	50,2	25	95	93	83		-	-
13 GN_6426_S-1	420034	4582432	30,9		76	65	11		-	-

Taula 10

Metro L3. Zona Universitària – Sant Feliu

Nom	Granulometria (% present)			
	Graves	Sorres	Llims	Argiles
1 GN_1727_SIT-2	26	51		23
2 AP_0097_13_SR-L3-02	1	64		35
3 GN_3990_S-04	29	39		32
4 AP_0097_13_SR-L3-15	19	17		64
5 GN_3990_S-06	24	55		21
6 GN_3990_S-08	7	15		78
7 GN_3990_S-10	15	52		33
8 GN_3990_S-11	4	12		84
9 GN_2938_S-2	0	10		90
10 GN_3990_S-12	2	23		75
11 GN_6426_S-4	35	40		25
12 GN_3990_S-B	5	12		83
13 GN_6426_S-1	24	65		11
TOTAL	15	35		50

Taula 11

Metro L3. Zona Universitària – Sant Feliu

Nom	Adobe				BTC				Tapial			
	G	S	L	A	G	S	L	A	G	S	L	A
1 GN_1727_SIT-2		X	X	X		X	X		X	X	X	X
2 AP_0097_13_SR-L3-02		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
3 GN_3990_S-04			X	X	X	X	X		X	X	X	X
4 AP_0097_13_SR-L3-15			X	X		X	X					
5 GN_3990_S-06		X	X		X	X			X	X	X	
6 GN_3990_S-08					X							
7 GN_3990_S-10		X	X	X	X	X	X		X	X	X	
8 GN_3990_S-11					X							
9 GN_2938_S-2					X							
10 GN_3990_S-12					X							
11 GN_6426_S-4			X	X	X				X	X	X	X
12 GN_3990_S-B					X							
13 GN_6426_S-1		X	X		X	X			X	X	X	
TOTAL			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Taula 12

En aquest cas, la terra corresponent als trams 1,3 i 11, correspondria al rang granulomètric per a la tècnica constructiva del Tapial. Mentre que la terra corresponent al tram 2, correspondria al rang granulomètric per a la **tècnica constructiva del BTC** (taula 12).

Per maximitzar el reaprofitament de tota la terra, si es genera una barreja amb les terres de tota l'excavació i se li afegís un 10% més de graves la granulometria final respondria també al rang granulomètric de la **tècnica del Tapial**.

Metro L2. Perllongament Sant Antoni – Parc Logístic



Imatge 19 (PPE)

El cas de l'ampliació del túnel de l'L2 del metro de Barcelona de Sant Antoni a Parc Logístic (imatge 19), la profunditat de les dades que ens proporcionen els estudis geotècnics correspon amb la profunditat de l'excavació (taula 13), així que podem valorar la possible idoneïtat de la terra per reaprofitar-se com a matèria primera en la construcció a partir d'una tècnica constructiva concreta (taula 14).

Metro L2. Perllongament Sant Antoni – Parc Logístic

Nom	Cordenades			Prof.	Granulometria (% que passa)				Índex d'Atterb	
	X	Y	Z		>5	>2	>0,08	<0,002	LL	LP
1 GN_1987_S-L2-01	430103	4581376	12,7	20	94	79	16		14,8	19,3
2 GN_1987_S-L2-02	430043	4581238	13,1	20	96	91	36		27,8	15,1
3 GN_1987_S-L2-04	429853	4581051	14,1	20	100	99	19		-	-
4 GN_1987_S-L2-07	429719	4580954	16,1	20	99	98	86		26,8	18,9
5 GN_1987_S-L2-13	429507	4580610	31,6	20	91	90	57		25,3	20
6 GN_1987_S-L2-18	429251	4580407	42,1	20	100	99	54		24,5	20,5
7 GN_1987_S-L2-23	428989	4580291	63,7	20	99	94	67		26,4	17,8
8 GN_1987_S-L2-34	428582	4579319	12,9	20	100	99	28		-	-
9 GN_1727_SIT-31	428353	4578759	8,6	20	100	98	28		-	-
10 GN_1987_S-L2-42	427976	4578685	5,6	20	98	95	16		-	-
11 GN_1987_S-L2-45	427613	4578526	5,4	20	97	96	18		-	-
12 GN_1987_S-L2-50	427226	4578284	5,5	20	100	96	36		19,1	16,2
13 GN_1987_S-L2-53	427227	4577905	5,3	20	98	96	18		-	-
14 GN_1987_S-L2-57	427416	4577502	6,8	20	100	99	86		-	-

Taula 13

Nom	Granulometria (% present)			
	Graves	Sorres	Llims	Argiles
1 GN_1987_S-L2-01	6	78		16
2 GN_1987_S-L2-02	4	60		36
3 GN_1987_S-L2-04	0	81		19
4 GN_1987_S-L2-07	1	13		86
5 GN_1987_S-L2-13	9	34		57
6 GN_1987_S-L2-18	0	46		54
7 GN_1987_S-L2-23	1	32		67
8 GN_1987_S-L2-34	0	72		28
9 GN_1727_SIT-31	0	72		28
10 GN_1987_S-L2-42	2	82		16
11 GN_1987_S-L2-45	3	79		18
12 GN_1987_S-L2-50	0	64		36
13 GN_1987_S-L2-53	2	80		18
14 GN_1987_S-L2-57	0	14		86
TOTAL	2	58		40

Taula 14

Nom	Adobe				BTC			Tapial				
	G	S	L	A	G	S	L	A	G	S	L	A
1 GN_1987_S-L2-01		X			X	X				X	X	
2 GN_1987_S-L2-02	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
3 GN_1987_S-L2-04		X			X	X				X	X	
4 GN_1987_S-L2-07					X							
5 GN_1987_S-L2-13		X	X		X	X	X	X	X			
6 GN_1987_S-L2-18	X	X	X		X	X	X	X	X			
7 GN_1987_S-L2-23		X	X		X	X				X		
8 GN_1987_S-L2-34		X	X		X	X	X	X			X	X
9 GN_1727_SIT-31		X	X		X	X	X	X			X	X
10 GN_1987_S-L2-42		X			X	X				X	X	
11 GN_1987_S-L2-45		X			X	X				X	X	
12 GN_1987_S-L2-50	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	
13 GN_1987_S-L2-53		X			X	X				X	X	
14 GN_1987_S-L2-57					X							
TOTAL	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X

Taula 15

En aquest cas, la terra corresponent als trams 1,5,6,8,9 i 12, correspondria al rang granulomètric per a la tècnica constructiva del BTC.

Per maximitzar el reaprofitament, si es genera una barreja amb les terres de tota l'excavació la granulometria final respondria també al rang granulomètric de la **tècnica del BTC** (taula 15).

A més a més, la granulometria de la terra extreta en els trams 2 i 12 està molt propera a la necessària per a la **tècnica del Tapial**, així que si s'afegís un percentatge concret de graves en la terra extreta en aquests trams, es podria dur a terme aquesta tècnica constructiva.

Metro L1. Fondo – Badalona Centre – Renfe Badalona



Imatge 20 (PPE)

El cas de l'ampliació del túnel de l'L1 del metro de Barcelona de Fondo–Badalona Centre–Renfe Badalona (imatge 20), la profunditat de les dades que ens proporcionen els estudis geotècnics correspon amb la profunditat de l'excavació (taula 16), així que podem valorar la possible idoneïtat de la terra per reaprofitar-se com a matèria primera en la construcció a partir d'una tècnica constructiva concreta (taula 17).

Metro L1. Fondo – Badalona Centre – Renfe Badalona

Nom	Cordenades			Prof.	Granulometria (% que passa)				LL	LP
	X	Y	Z		>5	>2	>0,08	<0,002		
1 GN_3980_L1-S10	437348	4588741	4,6	20	88	74	16	-	28	21,6
2 GN_3980_L1-S3	436060	4589587	45,6	15	96	82	17	-	-	-
3 GN_3980_L1-S2	435600	4589628	52,8	15	95	79	20	-	-	-
4 GN_3980_L1-S1	435409	4589536	58,8	20	95	84	20	-	-	-
5 GN_3980_L1-S0	435187	45895511	46,8	15	84	67	16	-	-	-
6 GN_3980_L1-S6	436676	4590062	45	20	100	98	32	13	25,3	16,8
7 GN_3980_L1-S9b	436954	4589507	26	20	96	89	20	-	29,5	17,8
8 GN_3980_L1-S7	436918	4590137	58	20	95	90	74	-	37,5	18,3

Taula 16

Metro L1. Fondo – Badalona Centre – Renfe Badalona

Nom	Granulometria (%)			
	Graves	Sorres	Llms	Argiles
1 GN_3980_L1-S10	12,4	72		15,6
2 GN_3980_L1-S3	3,6	79,7		16,7
3 GN_3980_L1-S2	5,1	74,6		20,3
4 GN_3980_L1-S1	5,1	74,8		20,1
5 GN_3980_L1-S0	16,4	67,3	16,3	13,4
6 GN_3980_L1-S6	0	68,1		31,9
7 GN_3980_L1-S9b	3,7	76,4		19,9
8 GN_3980_L1-S7	5,1	20,5		74,4
TOTAL	6,425	66,675		26,7

Taula 17

Metro L1. Fondo – Badalona Centre – Renfe Badalona

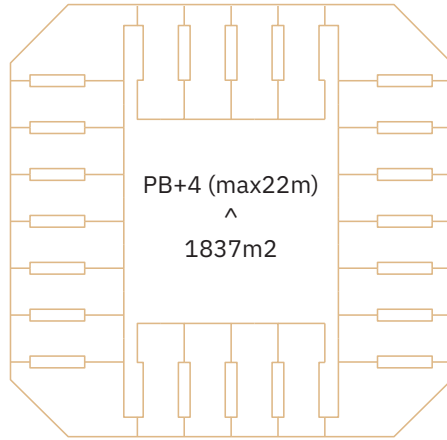
Nom	Adobe				BTC				Tapial			
	G	S	L	A	G	S	L	A	G	S	L	A
1 GN_3980_L1-S10					X	X	X		X	X	X	
2 GN_3980_L1-S3					X	X	X			X	X	
3 GN_3980_L1-S2	X				X	X	X			X	X	
4 GN_3980_L1-S1					X	X	X			X	X	
5 GN_3980_L1-S0		X	X	X		X	X	X		X	X	X
6 GN_3980_L1-S6					X	X	X			X	X	X
7 GN_3980_L1-S9b					X			X		X	X	
8 GN_3980_L1-S7				X	X			X				
TOTAL	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X

Taula 18

En aquest cas, exceptuant la terra corresponent al tram 6, la terra extreta en la resta de trams no respondria directament a cap tècnica constructiva concreta, però si es genera una barreja amb les terres de tota l'excavació la granulometria final respondria al reng granulomètric de la **tècnica del BTC** (taula 18).

A més a més, la granulometria de la terra extreta en els trams 5 i 6 està molt propera a la necessària per a la **tècnica del Tapial**, així que si s'afegís un percentatge concret de graves en la terra extreta en aquests, trams es podria dur a terme aquesta tècnica constructiva.

(39) CCCB, Cerdà i la Barcelona del futur Realitat versus projecte, octubre 2009



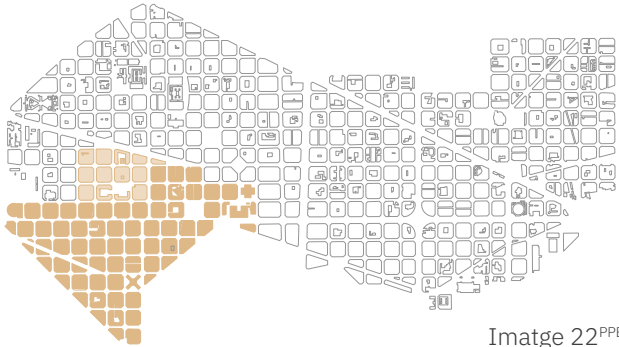
Imatge 21^{PPE(39)}

4.4 Resultats

Els resultats obtinguts en cada una de les ubicacions són molt favorables a l'hora de possibilitar una reutilització de les diferents terres extretes com a materials de construcció. Aquestes, tot i provenir de diferents orígens i respondre a diferents tècniques constructives serien capaces de donar resposta de manera similar al món de la construcció.

El cas del reciclatge de terres del cas de l'ampliació del túnel de l'L8 de FGC de Plaça Espanya a Gràcia, tenint en compte que la densitat mitjana del terreny extret segons els estudis geotècnics és de 1.800 kg/m^3 i que la densitat del BTC oscil·la entre els $1.700\text{-}2.000 \text{ kg/m}^3$, seria capaç de donar resposta a la construcció d'entre **3.160.073 – 2.686.062 m² de mur construït amb BTC** (tenint en compte un gruix de 40 cm).

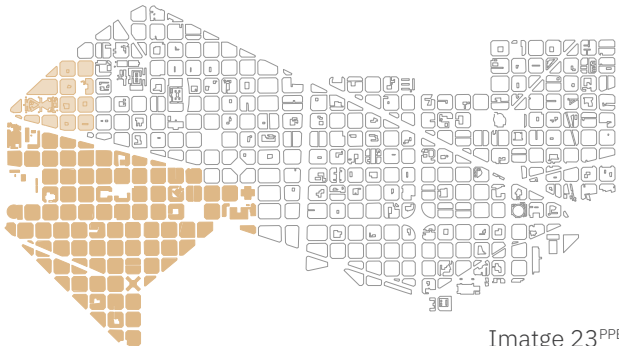
Superfície equivalent als tancaments verticals d'aproximadament entre 78-66 illes tipus (imatge 21) de l'eixample de Barcelona (imatge 22), suposant aproximadament el **21-18% de l'actual teixit del districte**.



Imatge 22^{PPE}

El cas del reciclatge de terres del cas de l'ampliació del túnel de l'L3 del metro de Barcelona de Zona Universitària a Sant Feliu, tenint en compte que la densitat mitjana del terreny extret segons els estudis geotècnics és de 1.800 kg/m^3 i que la densitat del Tapial oscil·la entre els $1.900\text{-}2.200 \text{ kg/m}^3$, seria capaç de donar resposta a la construcció d'entre **4.199.483 – 3.626.826 m² de mur construït amb Tapial** (tenint en compte un gruix de 60 cm).

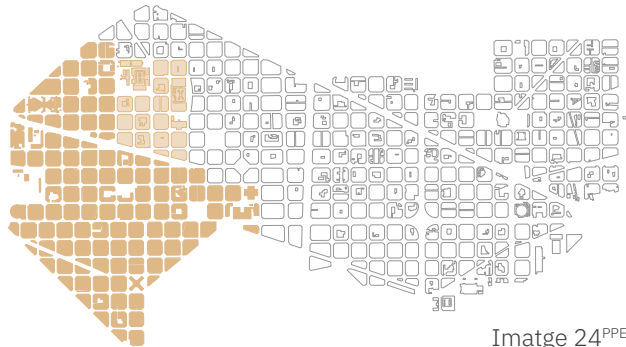
Superfície equivalent als tancaments verticals d'aproximadament entre 104-90 illes tipus (imatge 21) de l'eixample de Barcelona (imatge 23), suposant aproximadament el **28-24% de l'actual teixit del districte.**



Imatge 23^{PPE}

El cas del reciclatge de terres del cas de l'ampliació del túnel de l'L2 del metro de Barcelona de Sant Antoni a Parc Logístic, tenint en compte que la densitat mitjana del terreny extret segons els estudis geotècnics és de 1.800 kg/m^3 i que la densitat del BTC oscil·la entre els $1.700\text{-}2.000 \text{ kg/m}^3$, seria capaç de donar resposta a la construcció d'entre **5.239.068 – 4.453.208 m² de mur construït amb BTC** (tenint en compte un gruix de 40 cm).

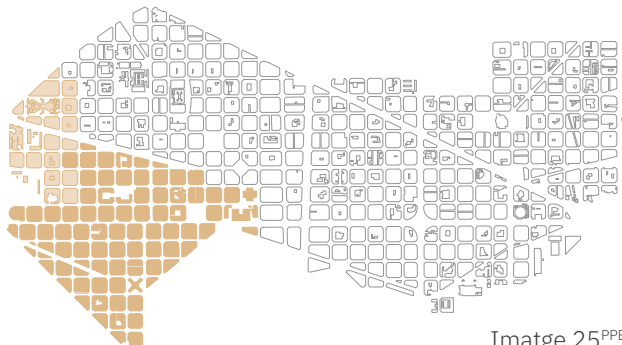
Superfície equivalent als tancaments verticals d'aproximadament entre 130-110 illes tipus (imatge 21) de l'eixample de Barcelona (imatge 24), suposant aproximadament el **35-29% de l'actual teixit del districte**.



Imatge 24^{PPE}

El cas del reciclatge de terres del cas de l'ampliació del túnel de l'L1 del metro de Barcelona de Fondo–Badalona Centre–Renfe Badalona, tenint en compte que la densitat mitjana del terreny extret segons els estudis geotècnics és de 1.800 kg/m^3 i que la densitat del BTC oscil·la entre els $1.700\text{-}2.000 \text{ kg/m}^3$, seria capaç de donar resposta a la construcció d'entre **3.742.191 - 3.180.863 m² de mur construït amb BTC** (tenint en compte un gruix de 40 cm).

Superfície equivalent als tancaments verticals d'aproximadament entre 93-79 illes tipus (imatge 21) de l'eixample de Barcelona (imatge 25), suposant aproximadament el **25-21% de l'actual teixit del districte.**



Imatge 25^{PPE}

Sumant les dades de la terra estreta en tots els casos d'estudis, es podria donar resposta a la construcció d'entre **16340814 – 13946958 m² de mur construït** tant amb la tècnica del Tapial (60 cm de gruix) com amb la del BTC (40 cm de gruix).

Superfície equivalent als tancaments verticals d'aproximadament entre 404-345 illes tipus (figura X) de l'eixample de Barcelona, suposant aproximadament el **108-92% de l'actual teixit del districte.**

5. Conclusions

A veure la situació de crisi ambiental que estem vivint en aquests moments i els resultats de l'estudi desenvolupat en aquest treball, podem afirmar que el reciclatge de terres d'excavacions i la seva reutilització com a matèria primera en la construcció, és un camí possible que té la nostra societat, per complir els objectius de descarbonització i minimització de l'impacte ambiental marcats per als pròxims anys.

En observar els resultats d'aquest treball, tot i la seva parcialitat en certs casos com s'ha mencionat al llarg del desenvolupament d'aquest, podem afirmar **la necessitat de continuar desenvolupant la resta de variables** a tenir en compte, per a la creació d'un sistema de reutilització de terres residuals d'excavacions com a matèria primera en la construcció, i la seva implementació estratègica en el nostre territori.

A més a més, per a la per a la bona acceptació social i que realment el reciclatge de terres d'excavacions apropi a la nostra societat a poder donar resposta als objectius de sostenibilitat per als pròxims anys, caldria dur a terme simultàniament al desenvolupament dels estudis diferents iniciatives de sensibilització i conscienciació sobre els beneficis de tot d'aquest procés.

Bibliografia

Albert Cuchí, “Les Construccions de Terra a Catalunya la Tècnica de la Tàpia”, setembre 1994

Algorri, E.: “La construcción con tierra en el Código Técnico de la Edificación”. Más es menos, Construir en Barro. Una Arquitectura de Futuro (2009). Centro de Estudios Benaventanos Ledo del Pozo. ISBN: 978-84-936651-4-2.

Anna Altemir, «Earthen construction in the 21st century», 2011

Arquitectos sen fronteras, «Ficha Tècnica: Sistema Constructivo Adobe/tapial»

A.Wijkman “Climate KIC’s Circular City Project Fast-tracking zero-waste city systems”, novembre 2018

Blanc Céline, Darmendrail Dominique, Rouvreau Laurent, Boissard Geoffrey, Scamps Mathilde BRGM, «REUSE OF EXCAVATED SOILS / TOOLS DEVELOPED AS PART OF THE FRENCH SOIL MANAGEMENT FRAMEWORK», octubre 2012

BRGM, <https://www.brgm.fr/en>

CCCB, Cerdà i la Barcelona del futur Realitat versus projecte, octubre 2009

Chatham House, “Evaluación de riesgos del cambio climático 2021”, setembre 2021

Corba granulomètrica, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1295519>

CRAterre, 1989. La roue des techniques. In. Houben, Hugo, Guillaud, Hubert, Traité de construction en terre. Marseille : Éditions Parenthèses. p.102. ISBN 978-2863641613.

CRAterre, ARQUITECTURA DE LA TIERRA EN EL MUNDO

Cycle-Terre, <https://www.cycle-terre.eu/>

ECT, ect.com/

EKOTRADE, <https://ekotrade.eus/>

G. Barbeta, Mejora De La Tierra Estabilizada En El Desarrollo De Una Arquitectura Sostenible Hacia El Siglo XXI , Tesis Doctoral, 2000

Geoindex, <https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Herramientas/Visualizadores-Geoindex/Geoindex-Prospecciones-geotecnicas>

HB 195, The Australian earth building handbook, 2001

H-Zero, <https://www.hercalzero.es/>

I. Jesús, «Arquitectura con Tierra Cruda en el Siglo XXI», TFG, 2019

Informe Symonds, “Construction and Demolition waste management practices and their economic impacts”, febrer 1999, Comisió Europea

Informe Symonds, “Construction and Demolition waste management practices and their economic impacts”, febrer 1999, Comisió Europea

Instituto Eduardo Torroja, P.I.E.T 70, Obras de Fàbrica, 1971

IteC, «Buenas Pràcticas Ambientales en las Obras de Construcción», setembre 2016

J.Cid Falceto, Durabilidad de los bloques de tierra comprimida : Evaluaci3n y recomendaciones para la normalizaci3n de los ensayos de erosi3n y absorci3n, Tesis Doctoral, 2012

J.Cruz Ovalle, Bodega en los Robles, San Fernando, Chile, 2002

J. Hernàndez, «Construccion con Tierra: Anàlisis, conservacion y mejora», juny 2016

- Maison Neuve de Guérande, <https://www.ville-guerande.fr/mairie-vie-municipale/grands-projets/ecoquartier-maison-neuve>

M. Hancock, “Research to create new materials from excavated clay launched”, març 2021

Ministeri de Cultura, Alimentaci3n i Medi Ambient, “Construction and Demolition Waste management in Spain V2”, setembre 2015

Ministerio de Vivienda, Construcci3n i Saneamiento, Perú, Norma E.080 Diseño y Construcci3n con Tierra Reforzada, abril 2017”

Munsell, <https://spadarian.github.io/aqp/example/2016/12/14/munsell-soil-colors-LAB>

Nova Scientia, “Optimizaci3n del proceso de elaboraci3n de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) mediante el control granulomètrico de las partìculas del Suelo”, setembre 2021

NZS 4298:1998, Materials and Workmanship for Earth Buildings, 1988

Pablo Martinez, Petroleo, Arcàdia, 2018, pag.08-09

Panayiota Pyla, “The many lives of New Gournà: alternative histories of a model community and their current significance”, novembre 2009

Pla d’Actuaci3n Grup Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya, 2022 - 2026

PLA DIRECTOR D’INFRAESTRUCTURES (pdI) 2021 – 2030, Barcelona, abril del 2021

Raquel Catalan Diaz, «Construcci3n con Tierra», TFG, juny 2018

UNE 41410, «Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques Definiciones, especificaciones y Mètodos de ensayo», desembre 2008

WWF, «A blueprint for a climate friendly cement industry»

© de les fotografies, els seus autors
© dels textos, els seus autors

Tipografies: IBM Plex Sans, Arial,
Times New Roman

Autor i edició
Pol Blasco Soler

Treball de fi de grau
ETSAV - Universitat Politècnica de Catalunya
Sant Cugat del Vallès, 2032