

# Casos d'Estudi per Integrar i Promoure Problemàtiques Globals a l'Aula d'Enginyeria Civil



FOTO: "A la vegada!". Barcelona. Sofia Vila Clavell



CASOS D'ESTUDI **Casos d'Estudi per Integrar i Promoure  
Problemàtiques Globals a l'Aula d'Enginyeria Civil**

**EDITAT PER**

Engineering Sciences and Global Development Research Group,  
Universitat Politècnica de Catalunya

**COORDINAT PER**

David Requejo-Castro, Ricard Giné-Garriga  
i Agustí Pérez-Foguet (*Universitat Politècnica de Catalunya*)

DL B 5492-2018  
ISBN: 978-84-697-9614-6

Aquesta obra està publicada sota  
una llicència Creative Commons  
Reconeixement - No comercial  
- CompartirIgual



Citació: EScGD (eds.). 2018. "Casos d'Estudi per Integrar i Promoure Problemàtiques Globals a l'Aula d'Enginyeria Civil".  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona. Disponible a: <http://www.eduglobalstem.cat/recursos/>

Descàrrec de responsabilitat: Aquest document ha estat produït amb el suport financer de l'Ajuntament de Barcelona. El contingut d'aquest document és responsabilitat exclusiva dels autors i sota cap circumstància pot considerar-se que reflecteix la posició de l'Ajuntament de Barcelona.

## Prefaci

El passat 25 de setembre del 2015, els Estats membres de les Nacions Unides van aprovar l'Agenda 2030 de Desenvolupament Sostenible, i un conjunt d'objectius per guiar la implementació de l'Agenda. Els Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) estan, per tant, orientats a l'acció, són concisos i fàcils de comunicar, limitats en nombre (17) i universalment aplicables a tots els països, tenint en compte les diferents realitats i nivells de desenvolupament<sup>1</sup>. L'Agenda 2030 parteix de la necessitat d'harmonitzar tres elements bàsics: el creixement econòmic, la inclusió social i la protecció del medi ambient. Aquests elements estan interconnectats i tots són fonamentals per al benestar dels individus, de les societats i dels ecosistemes.

En aquest context, es preveu que les solucions innovadores en l'àmbit tècnic i tecnològic jugaran un paper clau en l'assoliment de la majoria dels ODS. Així, els futurs enginyers i llicenciats en disciplines científic-tècniques estaran en una posició immillorable per exercir un rol d'influència i de transformació tant en el context local com en l'internacional, assumint la responsabilitat de decisions que, sens dubte, tindran un impacte rellevant en els àmbits social, ambiental i econòmic.

La universitat té la responsabilitat de participar activament en la promoció de la solidaritat i l'equitat en la societat i, en definitiva, en la promoció del desenvolupament sostenible (DS), a partir de les activitats que la caracteritzen: la docència, la recerca i la transferència de coneixements i de tecnologia. En concret, la universitat haurà de formar i equipar enginyers amb instruments conceptuals i pràctics que els permetin identificar i afrontar els reptes que planteja una societat cada vegada més complexa i interdependent. En paral·lel, però, és contrastada la dificultat del professorat en introduir a l'aula conceptes i problemàtiques relacionades amb el desenvolupament global, com ara la pobresa, les desigualtats, la justícia global, etc. Aquest fet té sense dubte un impacte negatiu en les competències i les habilitats adquirides pels estudiants durant el seu procés formatiu.

Davant d'aquesta situació, i amb l'objectiu d'integrar el DS com a element transversal en tots els cursos universitaris en l'àmbit científic-tecnològic, el grup de recerca de Ciències de l'Enginyeria i Desenvolupament Global (EScGD, per les seves sigles en anglès) va implementar el projecte "Integrar i Promoure Qüestions Globals en l'Educació Científic-tècnica". Amb el finançament de l'Ajuntament de Barcelona, amb el suport del Programa d'Innovació Docent de l'Escola d'Enginyeria Civil de la UPC i del Centre de Cooperació per al Desenvolupament de la UPC, i prenent com a punt de partida el projecte "*Global Dimension in Engineering Education (GDEE)*"<sup>2,3</sup>, aquesta publicació presenta un recull de materials didàctics per facilitar la implementació a l'aula aquelles competències transversals

---

<sup>1</sup> United Nations General Assembly. 2015. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution A/RES/70/1.*

<sup>2</sup> GDEE. 2013. *Global Dimension in Engineering Education: Case Studies.* Recuperat 4 de maig de 2018, des de <http://gdee.eu>.

<sup>3</sup> UPCommons. 2015. *Global Dimension in Engineering Education: Case studies for developing globally responsible engineers.* Recuperat 4 de maig de 2018, des de <http://upcommons.upc.edu/handle/2117/88905>.

vinculades als ODS. Més concretament, la competència transversal de "*Sostenibilitat i Compromís Social (SCS)*", que forma part del currículum actual de la Universitat Politècnica de Catalunya, UPC (Barcelona, Espanya).

Aquests materials, basats basen en experiències reals, es presenten en format de cas d'estudi<sup>4</sup>, i inclouen:

- Descripció del cas d'estudi, amb una introducció (disciplines abordades i resultats esperats del procés d'aprenentatge), el context, des d'una perspectiva de Desenvolupament Humà, dues activitats docents i els annexos pertinents;
- Presentació a l'aula, per ajudar als docents en la presentació a l'alumnat del context i de la descripció de les activitats docents;
- Activitat a l'aula, dissenyada per a una sessió de dues hores. Inclou la metodologia de treball i una possible solució. Aquesta activitat promou el debat a l'aula i introdueix els conceptes bàsics perquè l'alumne/a pugui dur a terme l'activitat fora de l'aula de forma autònoma;
- Activitat fora de l'aula (de dotze hores per a un curs d'un semestre), amb la metodologia i una possible solució. Aquesta activitat permet aplicar els coneixements tècnics i contextuals adquirits;
- Rúbrica d'avaluació, com a eina útil per avaluar conjuntament les activitats proposades.

Pel que fa a aquest darrer element, és important destacar que per cada cas d'estudi s'ha adaptat una rúbrica partint d'una plantilla general dissenyada per avaluar la competència transversal de "*Sostenibilitat i Compromís Social*" (Annex I). Els objectius referits amb aquesta competència es poden distribuir gradualment en tres nivells d'adquisició, coherents amb els nivells de complexitat de cada curs de la titulació:

- Nivell 1: Analitzar sistemàticament i críticament la situació global, atenent la sostenibilitat i el compromís social de forma interdisciplinària, i reconèixer les implicacions socials i ambientals de l'activitat professional del mateix àmbit.
- Nivell 2: Aplicar criteris de sostenibilitat i de compromís social en el disseny i l'avaluació de solucions tecnològiques i/o arquitectòniques.
- Nivell 3: Dur a terme projectes i actuacions professionals coherents amb el desenvolupament humà, la sostenibilitat i el compromís social, tenint en compte les

---

<sup>4</sup> EScGD (eds.). 2018. "Casos d'Estudi per Integrar i Promoure Problemàtiques Globals a l'Aula d'Enginyeria Civil". Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona. Recuperat 4 de maig de 2018, des de <http://www.eduglobalstem.cat/recursos/>.

dimensions social, econòmica i ambiental en la identificació dels problemes i en l'aplicació de solucions.

La rúbrica específica, per als tres nivells competencials, les diferents dimensions a avaluar. Per a cada dimensió, i per a cada nivell, es detallen els atributs a tenir en compte. Finalment, i en funció dels atributs abordats, es proposa una puntuació. En altres paraules, la rúbrica mostra el coneixement que es preveu que adquireixin els estudiants i els criteris que s'utilitzaran per avaluar el contingut de resolució associat a les activitats proposades.

En els casos d'estudi proposats només es tracten els dos primers nivells d'adquisició. El tercer nivell està relacionat amb un treball o investigació més extens, com ara el projecte final a l'acabar dels estudis universitaris. En total s'han elaborat cinc casos d'estudi, tal i com es detalla a continuació:

**CE.1: Programa d'Abastament d'Aigua i Sanejament Rural de Tanzània: Introducció a l'Economia i al Càlcul per a l'Enginyeria** (A. Pérez-Foguet i A. Garola)

**CE.2: Explorant l'Ús d'Àrids Reciclat per a la Dosificació del Formigó: Una Alternativa per Haití?** (D. Requejo-Castro i M. Etxeberria)

**CE.3: Ampliant Horitzons per al Disseny d'una Llosa de Formigó Pre-Estressat: Un Cas d'Estudi a Barcelona** (D. Requejo-Castro i E. Oller)

**CE.4: Dimensionament d'una Xarxa de Distribució d'Aigua Potable a Collique (Lima): Introducció al Dret Humà a l'Aigua i al Sanejament** (H. Grau-Huguet i E. Okpala)

**CE.5: Anàlisi Multivariant i Construcció d'Índexs: Minería de Dades Aplicada al Sector Aigua i Sanejament Rural a Hondures** (C. Vergara Fuentes i A. Pérez-Foguet)

Aquests materials estan disponibles en anglès<sup>5</sup> i en castellà<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> EScGD (eds.). 2018. "Case Studies to Integrate and Promote Global Issues in STEM Education". Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona. Recuperat 4 de maig de 2018, des de <http://www.eduglobalstem.cat/recursos/>.

<sup>6</sup> EScGD (eds.). 2018. "ODS 6 en el Aula de Ingeniería desde la Experiencia en Proyectos de Cooperación". Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona. Recuperat 4 de maig de 2018, des de <http://www.eduglobalstem.cat/recursos/>.

CASOS D'ESTUDI

# Programa d'Abastament d'Aigua i Sanejament Rural de Tanzània: Introducció a l'Economia i al Càlcul per a l'Enginyeria

Agustí Pérez Foguet i Alvar Garola



FOTO: Riu Rufiji. Tanzània. Alejandro Jiménez Fdez. de Palencia



GDEE | GLOBAL  
DIMENSION IN  
ENGINEERING  
EDUCATION

CASOS DE ESTUDIO **Programa d'Abastament d'Aigua i Sanejament Rural de Tanzània: Introducció a l'Economia i al Càlcul per a l'Enginyeria**

**EDITAT PER**

Engineering Sciences and Global Development Research Group,  
Universitat Politècnica de Catalunya

**COORDINAT PER**

David Requejo-Castro, Ricard Giné-Garriga  
i Agustí Pérez-Foguet (*Universitat Politècnica de Catalunya*)

DL B 5492-2018

ISBN: 978-84-697-9614-6

Aquesta obra està publicada sota  
una llicència Creative Commons  
Reconeixement - No comercial  
- CompartirIgual



Citació: Pérez-Foguet, A., i Garola, A. 2018. "Programa d'Abastament d'Aigua i Sanejament Rural de Tanzània: Introducció a l'Economia i al Càlcul per a l'Enginyeria". A Casos d'Estudi per Integrar i Promoure Problemàtiques Globals a l'Aula d'Enginyeria Civil. ESsGD (eds.). Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona. Disponible a: <http://www.eduglobalstem.cat/recursos/>

Descàrrec de responsabilitat: Aquest document ha estat produït amb el suport financer de l'Ajuntament de Barcelona. El contingut d'aquest document és responsabilitat exclusiva dels autors i sota cap circumstància pot considerar-se que reflecteix la posició de l'Ajuntament de Barcelona.

# 1

## PROGRAMA DE SUBMINISTRAMENT D'AIGUA I SANEJAMENT RURAL DE TANZÀNIA: INTRODUCCIÓ A L'ECONOMIA I AL CÀLCUL PER A L'ENGINYERIA

**Agustí Pérez Foguet**, Universitat Politècnica de Catalunya

**Alvar Garola**, Universitat Politècnica de Catalunya



## ÍNDEX

<b>1. INTRODUCCIÓ.....</b>	<b>3</b>
1.1. DISCIPLINES COBERTES .....	4
1.2. RESULTATS D'APRENENTATGE.....	5
1.3. ACTIVITATS .....	5
<b>2. DESCRIPCIÓ DEL CONTEXT .....</b>	<b>6</b>
2.1. AIGUA, SANEJAMENT I HIGIENE .....	6
2.2. MARC D'ASSIGNACIÓ DELS RECURSOS NACIONALS .....	7
2.3. UNA MIRADA A TANZÀNIA .....	8
2.4. EL PROGRAMA DE SUBMINISTRAMENT D'AIGUA I SANAJAMENT RURAL .....	9
<b>3. ANTECEDENTS TEÒRICS .....</b>	<b>12</b>
3.1. ANÀLISI ECONÒMICA DE COST – BENEFICI.....	12
3.2. TEOREMA DE LA FUNCIÓ IMPLÍCITA.....	13
3.3. TAXA MARGINAL DE SUBSTITUCIÓ (TMS).....	14
<b>4. ACTIVITAT A L'AULA.....</b>	<b>15</b>
4.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVUACIÓ.....	15
<b>5. ACTIVITAT AUTÒNOMA FORA DE L'AULA.....</b>	<b>19</b>
5.1. DADES .....	19
5.2. ALTERNATIVES D'ASSIGNACIÓ: OPCIÓ A.....	22
5.3. ALTERNATIVES D'ASSIGNACIÓ: OPCIÓ B.....	22
5.4. EXERCICI 1 .....	25
5.5. EXERCICI 2 .....	28
5.6. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVUACIÓ.....	29
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>36</b>
<b>ANNEXOS.....</b>	<b>39</b>

## 1. INTRODUCCIÓ

L'any 2015, l'Assemblea General de les Nacions Unides va aprovar l'Agenda 2030 pel Desenvolupament Sostenible, un pla d'acció a favor de les persones, el planeta i la prosperitat, que també vol reforçar la pau universal i l'accés a la justícia. Els Objectius de Desenvolupament Sostenible<sup>1</sup> (ODS) conjuntament tracten d'abordar els assumptes pendents i les deficiències dels Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni, els quals van ser utilitzats per monitoritzar el progrés del desenvolupament de 2000 a 2015. Objectius específics per a l'aigua i el sanejament també s'inclouen dins del marc dels ODS. Per tant, els països se'ls demana i demanarà constantment que estableixin els seus propis objectius nacionals guiats per ambicions i consens a nivell mundial, però tenint en compte les circumstàncies nacionals.

El govern de Tanzània, com molts altres de la regió subsahariana, ha emprès històricament diferents plans per millorar i augmentar l'accés als serveis d'aigua i sanejament. El 2006, es va iniciar el Programa Nacional de Subministrament d'Aigua i Sanejament Rural (NRWSSP per les sigles en anglès) com a part d'un pla més gran per millorar i augmentar l'accés a l'aigua. Per implementar aquest ambiciós programa i complir els objectius corresponents, era necessari desenvolupar una estratègia global d'assignació de recursos que aclareixi quins factors s'han de tenir en compte i com s'han de ponderar i aplicar.

Amb recursos limitats, es requereixen mecanismes adequats per garantir que els esforços i els recursos disponibles s'assignin a aquelles activitats d'aigua i sanejament que produeixin el major impacte positiu per als beneficiaris. Per tant, avaluar els costos econòmics de les intervencions i els beneficis resultants és de vital importància per a l'assignació efectiva de recursos. Una bona anàlisi econòmica de costos i beneficis és una eina útil per als responsables de la presa de decisions (Boardman, 2006; European Commission, 2015).

A més, quan es considera l'equitat geogràfica o altres criteris crucials des d'una perspectiva política, normalment s'inclouen anàlisis detallades de les inversions desglossades. Sorprenentment, en aplicacions reals, alguns aspectes específics relacionats amb les tecnologies de l'aigua, com la disminució de les taxes de funcionalitat amb el temps, no es consideren correctament, cosa que fa que el resultat real esperable de les inversions previstes estigui sobrevalorat (Jiménez i Pérez-Foguet, 2011a, 2012).

Les dades que descriuen la situació real dels serveis i infraestructures del sector de l'aigua rural es van recollir a través de les anomenades campanyes de Mapeig de Punts d'Aigua o Water Point Mapping (WPM de les sigles en anglès) que es van realitzar al país.

---

<sup>1</sup> Podeu trobar informació detallada sobre els SDG a <http://www.un.org/sustainabledevelopment>.

L'enfocament de WPM és una eina ben documentada i àmpliament utilitzada per diverses organitzacions no governamentals a l'Àfrica per al seguiment i la defensa d'activitats sobre l'accés a l'aigua (Welle 2005). Jiménez i Pérez-Foguet (2008, 2010a, 2011b) van treballar intensivament amb dades de Tanzània i van poder recomanar diverses propostes per millorar la governança sectorial de l'aigua. L'interès principal en el cas d'estudi presentat aquí és comprovar la influència d'algunes de les seves conclusions sobre l'impacte del NRWSSP. Per aquest cas, només s'utilitza un subconjunt de dades analitzades per a Tanzània.

En aquest cas d'estudi, els estudiants analitzaran primer com el NRWSSP va assignar els recursos disponibles i com el Ministeri d'Aigües va prendre decisions en col·laboració amb el Banc Mundial, el principal donant del programa. En segon lloc, es presenta una alternativa per a l'anàlisi, basada segons els resultats obtinguts respecte a la disminució de la taxa de funcionalitat de les infraestructures de l'aigua al llarg del temps. La comparació entre aquestes dues alternatives permetrà als estudiants extreure conclusions sobre l'assignació efectiva de recursos per a l'aigua i el sanejament. Finalment, s'introdueix una anàlisi detallada de les relacions entre costos i rendiment de diferents solucions tecnològiques.

## 1.1. DISCIPLINES COBERTES

Aquesta proposta s'ha preparat per a un estudiant d'enginyeria de primer curs. Aquesta encaixa dins d'un curs d'economia bàsica d'infraestructures, i es pot utilitzar juntament amb un curs bàsic sobre càlcul multivariant. Els temes tractats i la racionalitat del cas d'estudi permeten dividir la proposta en dues parts: la primera, que s'utilitzarà per a un curs d'economia, i la segona per a un curs de càlcul. En ambdós casos, es proposen diverses activitats per aplicar conceptes adquirits.

Concretament, aquest cas d'estudi cobreix l'assignació d'inversions nacionals en infraestructures d'aigua rural en un país en desenvolupament, per a diferents escenaris segons les dades disponibles.

L'objectiu de la proposta és que l'alumnat entengui les diferents metodologies presentades i que pugui 1) analitzar-les a través d'una anàlisi econòmica cost-benefici (AECB); i 2) avaluar la taxa marginal de substitució (TMS) entre les solucions tecnològiques.

Es tracten alguns conceptes bàsics de càlcul multivariant, incloent l'evolució del temps en els sistemes discrets, l'aproximació de derivades per increments i la linealitat de les funcions

multivariants. La TMS es contextualitza com una aplicació del teorema implícit, un pilar bàsic del càlcul multivariant.

S'han simplificat dades reals per fer un càlcul il·lustratiu mitjançant fulls de càlcul estàndard.

## 1.2. RESULTATS D'APRENTATGE

Com a resultat d'aquest cas d'estudi, s'espera que l'alumnat sigui capaç de:

- Comprendre com els governs desenvolupen un programa nacional d'aigua, sanejament i higiene (WaSH per les sigles en anglès) i assignen recursos;
- Desenvolupar una anàlisi econòmica de cost-benefici rellevant per al sector WaSH;
- Comprendre com la disminució de la taxa de funcionalitat de la infraestructura hídrica a través del temps afecta els impactes esperats d'un programa WaSH nacional;
- Calcular l'evolució del temps d'un sistema discret;
- Relacionar variables a través del teorema de la funció implícita;
- Aproximar derivades mitjançant quocients incrementals.

## 1.3. ACTIVITATS

L'alumnat primerament hauria de rebre una sessió teòrica en relació amb el context i els fonaments presentats en les dues seccions següents d'aquest document. En primer lloc, s'han d'introduir breus descripcions sobre: i) l'assignació de recursos nacionals en països en vies de desenvolupament, ii) el context de la República Unida de Tanzània i la seva situació en relació amb el sector de l'aigua, el sanejament i la higiene (WASH), i iii) El Programa de Subministrament d'Aigua i Sanejament Rural (NRWSSP). En segon lloc, s'ha de proporcionar una introducció per a qualsevol (o tots) dels tres temes clau teòrics d'aquest cas d'estudi: i) Anàlisi Econòmica Cost-Benefici (AECB), ii) Teorema de la Funció Implícita (TFI), i iii) Taxa Marginal de Substitució (TMS).

Es proposen i presenten dues activitats en aquest document, inclosa la descripció dels materials de suport (fulls de càlcul estàndard). En la primera activitat, que es farà a l'aula, grups petits aplicaran la base de l'anàlisi ACB a aquest context específic. Els resultats seran

discutits i complementats pel docent a l'aula. La sessió es pot finalitzar introduint la següent activitat per a fora de l'aula, relacionada amb la manera en què el NRWSSP selecciona els beneficiaris del programa i assigna geogràficament els recursos corresponents, una vegada que s'ha realitzat una reflexió sobre els resultats del ACB.

En la segona activitat (activitat autònoma fora de l'aula), les taxes de funcionalitat de les solucions tècniques efectivament implementades a Tanzània, es descriuen per primera vegada i seguidament s'analitzen per a la seva influència en la simulació dels resultats del NRWSSP. Les dades recopilades que descriuen la situació real de diferents solucions tecnològiques s'utilitzen per: i) definir l'assignació de recursos alternatius respecte a l'oficial; i ii) definir criteris per seleccionar els preus de la tecnologia en dos exercicis consecutius.

El primer exercici proposat es basa en una implementació de fulls de càlcul dels dos processos d'assignació. Es pot introduir a l'aula o assignar-ho com a tasca fora de l'aula en grups. Una discussió final pot ser útil per tancar el primer exercici, sempre que es demanai una anàlisi qualitativa. El segon exercici també es basa en l'ús d'un full de càlcul per calcular diferents resultats. Els conceptes bàsics del càlcul multivariant, com ara linealitat, aproximació parcial de derivades i TFI, s'utilitzen explícitament, en el marc d'una anàlisi econòmica basada en TMS.

## 2. DESCRIPCIÓ DEL CONTEXT

### 2.1. AIGUA, SANEJAMENT I HIGIENE

L'aigua, el sanejament i la higiene (WaSH per les sigles en anglès) són essencials per a la salut, el benestar i els mitjans de subsistència. La investigació mostra que un major accés i millors serveis condueixen a majors nivells de rendiment escolar i millora de la productivitat econòmica. Els vincles entre millores en WaSH i l'assoliment de la pobresa, la salut, la nutrició, l'educació i la igualtat de gènere son objectius proposats, i els indicadors per a l'aigua potable, el sanejament i la higiene, i el creixement econòmic sostenible estan ben establerts (WSSCC, 2014). No obstant això, moltes persones no disposen de serveis bàsics d'aigua i sanejament. Tenint en compte la situació global del sector del WaSH, els països de l'Àfrica subsahariana encara tenen la proporció més baixa de població amb accés a instal·lacions de subministrament d'aigua potable i sanejament millorades. Tanzània és un dels països amb la pitjor situació.

El marc dels Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) ha establert un nou conjunt estàndard de categories de fonts d'aigua potable i de sanejament que s'han utilitzat per al monitoratge des de l'any 2015<sup>2</sup>. La provisió de serveis s'expressa en termes d'escala, una seqüència de nivells de servei amb valor afegit progressiu. Quan les escales s'utilitzaven dins del marc dels Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni<sup>3</sup> (ODM), aquestes eren més simples del que ara són. Quan es va desenvolupar aquest cas d'estudi, la classificació estàndard de l'OMS/JMP distingia entre instal·lacions millorades i no millorades. Una font d'aigua potable millorada és la que, per la naturalesa de la seva construcció, protegeix adequadament la font de la contaminació externa, particularment de la matèria fecal. Les fonts millorades inclouen, però no es limiten a, pous excavats protegits, perforacions, recollida d'aigües pluvials i tubs de distribució. Les fonts no millorades s'han desglossat en dues categories: aigua superficial i altres fonts no millorades. L'aigua superficial inclou aigua recollida directament des de rius, llacs, estanys, canals de reg i altres fonts de superfície. Les altres fonts no millorades inclouen pous excavats sense protecció, fonts naturals sense protecció i aigua lliurada per carro o camió. Per al sanejament, s'utilitza la mateixa nomenclatura per definir les categories. Una instal·lació de sanejament millorada és la que separa higiènicament les excrements humanes del contacte humà. En canvi les no millorades no poden assegurar aquesta separació. A més, les instal·lacions de sanejament compartides o públiques son considerades també com a no millorades. Un exemple d'un sanejament no millorat és la defecació a l'aire lliure, que es defineix com a defecació en camps, boscos, arbustos, cossos d'aigua o altres espais oberts.

## 2.2. MARC D'ASSIGNACIÓ DELS RECURSOS NACIONALS

Un marc d'assignació de recursos estableix quins factors s'han de tenir en compte i com s'han de ponderar i aplicar. Considerant el cas d'estudi analitzat en aquest informe, el marc per a l'assignació de recursos nacionals s'aplicarà al sector de l'abastament d'aigua i el sanejament rural.

Atès que és molt important dur a terme una bona assignació de recursos en qualsevol sector del desenvolupament, calen mecanismes adequats per assegurar que els recursos estiguin assignats a aquelles activitats d'aigua i sanejament que puguin tenir el major impacte en assolir els objectius sectorials. A més, és important assenyalar que hi ha molts factors a tenir en compte a l'hora d'avaluar com assignar recursos, entre els subsectors d'aigua i sanejament, però també és important recordar que mai no hi ha una resposta "correcta". Per tant, la determinació de la millor manera d'assignar recursos dins d'un país

---

<sup>2</sup> <http://www.wssinfo.org/definitions-methods/watsan-categories/>

<sup>3</sup> Més informació disponible a: <http://www.un.org/es/millenniumgoals/bkgd.shtml>

és una decisió clau, ja sigui dirigida a projectes gestionats centralment o (cada vegada més) en projectes locals i descentralitzats. Tenint en compte que la divisió dels recursos rurals és un tema especialment difícil de resoldre, aquest cas d'estudi contribuirà a entendre aquests conceptes.

No hi ha un mètode únic que s'hauria d'utilitzar per prendre decisions sobre l'assignació de recursos. Sino que es poden utilitzar diversos mètodes, com ara l'enfocament basat en el subsector o l'enfocament orientat a objectius sectorials. El focus general del primer d'aquests és assignar recursos basats en la importància de cada subsector en qüestió. Mentre que el segon mètode, l'assignació de recursos es basa en els objectius i les metes del conjunt del sector, invertint on les mancances són més grans. El cas d'estudi presentat en aquest informe utilitza la primera metodologia per completar un "Pla d'Inversió Sectorial" (PIS). Mitjançant aquest mètode, diverses institucions participen del que es denomina Sector Wide Approach (Enfocament Sectorial Ampli), amb actors clau que es reuneixen regularment per desenvolupar polítiques sectorials integrades, plans i pressupostos. A més, el suport dels donants està assignat a diferents institucions del país, ja que els fons estan descentralitzats als governs locals. Tenint en compte que l'assignació geogràfica és sensible políticament, el mètode d'assignació més senzill utilitza els nivells de població, però el mètode no té en compte els diferents nivells de pobresa, costos de prestació del serveis i tarifes per accedir-hi. Calcular i comparar aquests factors per a diferents regions requereix fórmules elaborades i la transparència és vital perquè les decisions d'assignació de recursos puguin ser disputades i defensades. Tanmateix, l'anàlisi cost-benefici rarament és, en tot cas, l'únic procediment utilitzat per fer inversions públiques i decisions relacionades amb les polítiques. Les opinions difereixen sobre de quina manera és desitjable aquesta situació actual, però la realitat política dicta que molts altres interessos estan incrustats en les decisions preses.

### 2.3. UNA MIRADA A TANZÀNIA

La República Unida de Tanzània està situada a l'Àfrica Oriental. Kenya i Uganda es troben al nord, Rwanda, Burundi i la República Democràtica del Congo a l'oest, i Zàmbia, Malawi i Moçambic al sud. A la frontera oriental del país es troba a l'Oceà Índic, amb una línia de costa de 1,424 km. Tanzània té una superfície total de 945,087 km<sup>2</sup>.

Tanganyika es va independitzar el 9 de desembre de 1961, i Zanzíbar va rebre la seva independència del Regne Unit el 10 de desembre de 1963. El 26 d'abril de 1964, Tanganyika es va unir amb Zanzíbar per formar la República Unida de Tanganyika i Zanzíbar. El país va passar a denominar-se República Unida de Tanzània el 29 d'octubre del mateix any. El nom de Tanzània és una barreja de Tanganyika i Zanzíbar i anteriorment no tenia cap significat.

El 2005, la població de Tanzània era de 36.2 milions, amb una taxa de creixement anual del 2.9%. Es va estimar que la població era de 46.2 milions a finals de 2011 (al 2014). La seva economia depèn en gran mesura de l'agricultura. A més, la indústria turística, minera i les indústries de petita escala contribueixen cada vegada més al creixement econòmic nacional durant els darrers anys.

L'estructura del govern, inclosa l'administració local, existia a Tanzània abans de la independència. La política de descentralització del govern es va esbossar en el Document Normatiu de 1998 sobre la Reforma del Govern Local i es va caracteritzar per la transferència de competències des del centre fins a les diferents entitats jurídiques, que tenen una àmplia autonomia. S'esperava que la política reduís la pobresa millorant la prestació de serveis, gràcies a les Autoritats Governamentals Locals (AGL)<sup>4</sup> efectives i autònomes.

## 2.4. EL PROGRAMA DE SUBMINISTRAMENT D'AIGUA I SANAJAMENT RURAL

El govern de Tanzània, igual que molts altres de la regió subsahariana, va impulsar un ambiciós pla per millorar i augmentar l'accés a l'aigua: el Programa de Desenvolupament del Sector de l'Aigua. Aquest pla inclou tres subprogrames: gestió i desenvolupament de recursos hídrics, subministrament d'aigua i sanejament rural (NRWSSP) i subministrament d'aigua i clavegueram urbà. El govern central juga el paper de coordinador i facilitador en el subsector de l'aigua, mentre que el nivell del districte té les principals responsabilitats d'implementació. En el moment del disseny del Programa, Tanzània tenia una població rural estimada de 25.9 milions, i la cobertura d'aigua rural esmentada va ser del 53%. Giné i Pérez-Foguet (2008) i Jiménez i Pérez-Foguet (2011c) presenten resums generals del NRWSSP. Els fets i xifres clau es resumeixen en les següents:

### Metes

El NRWSSP estableix metes per al percentatge de població rural amb accés sostenible i equitatiu a aigua potable:

- Almenys el 65% per al 2010 (un objectiu fixat per l'Estratègia Nacional per al Creixement i la Reducció de la Pobresa, també conegut com MKUKUTA);
- Almenys el 74% a mitjans de 2015, tal com especifiquen els ODM;

---

<sup>4</sup> Podeu trobar més detalls sobre l'evolució històrica del sector a Jiménez i Pérez-Foguet (2010b)



- Almenys el 90% pel 2025.

### Estimació del creixement de la població

Els requisits d'inversió es basen en la població del cens del districte rural i en les taxes de creixement, tal com es va informar al cens de 2002. El cens rural inclou petits nuclis de població de menys de 50,000 habitants. Amb la finalitat d'estimar els requisits d'inversió en aquest informe, la població total de les poblacions petites i rurals s'estima en 30 milions a partir del 2004, i es preveu que creixi fins a 41 milions pel 2025. En general, el compliment dels objectius anteriors requerirà l'ampliació de la cobertura de subministrament d'aigua a 33.8 milions d'habitants addicionals de 2005 a 2025.

### Estimació de costos

Els costos estimats per al component rural (és a dir, excloent ciutats petites) són de US\$ 1.61 mil milions, amb US\$ 1.46 mil milions per a inversions de capital, incloent la rehabilitació, US\$ 51 milions per a la gestió i suport operatiu als districtes, gairebé US\$ 17 milions per enfortiment institucional i desenvolupament i US\$ 74 milions per contingències (Ministry of Water 2006).

### Procés de Planificació General

El procés a nivell de districte combina els enfocaments des de dues direccions diferents: de dalt a baix i de baix a dalt. Cada any, les AGL decideixen sobre el seu pressupost basat amb les assignacions als seus districtes, que es presenten al Ministeri de Fons (MF). El MF pren la decisió final i aprova el pressupost nacional. El mateix sistema és utilitzat a nivell del ministeri, i les subvencions de desenvolupament només es destinen a districtes qualificats. Tanmateix, el mecanisme és diferent, ja que el Ministeri assigna fons a districtes qualificats d'acord amb les fórmules, i les AGL fan la selecció final dels beneficiaris després de discutir-ho durant una reunió plenària del consell.

### Aspectes clau a nivell del Ministeri

En aquest cas, ens centrarem en els mecanismes de presa de decisions del Ministeri. L'assignació dels recursos del NRWSSP es veu afectada per les següents responsabilitats: disseny del programa, assignació de recursos i formulació de pautes per ajudar a les AGL.

Pel que fa al disseny del programa, és important notar que el càlcul de punts d'aigua per a cada districte es basa en dos principis generals: i) taxes de cobertura actuals: el programa pretén augmentar els nivells de cobertura en aquells districtes que mostrin la menor cobertura; i ii) opcions tecnològiques presentades en cada districte. Per tant, els costos

s'assignen en funció de la combinació tecnològica prevista. Aquesta combinació tecnològica va ser el principal impulsor del càlcul de costos.

Pel que fa a l'assignació de recursos, l'assignació de fons del NRWSSP del ministeri al districte es basa en fórmules. Existeixen tres pressupostos d'aigua diferents:

- El Pressupost de Desenvolupament (també anomenat Subvenció de Desenvolupament de Capital) s'utilitza per implementar infraestructures d'aigua i construir latrines de demostració. Això representa el 91.22% del pressupost total estimat del programa. La proporció de població sense servei que viu en un districte en comparació amb la població total sense servei del país en general es pren com a paràmetre per a l'assignació de fons. Això representa un canvi important entre l'objectiu previst i la implementació del pla; és a dir, a mesura que es dirigeixin als grups més grans de persones sense servei, no hi haurà equitat territorial;
- El Pressupost Recurrent (també anomenat Subvenció del Bloc d'Aigua Rural) és la inversió assignada per a la supervisió anual, el seguiment i el suport dels serveis d'aigua en comunitats rurals. En aquest pressupost, es dóna prioritat a les àrees sense servei (amb una assignació del 90%);
- La Subvenció de la Capacitat de Construcció. Per aquesta subvenció, es reparteix el mateix import independentment del districte.

#### Procés de Planificació a Nivell del Ministeri

El NRWSSP té un procés de planificació que assigna les principals responsabilitats als diferents nivells de govern, el qual afecta l'assignació de recursos relacionats amb el Programa. Al Ministeri d'Aigües, la responsabilitat principal és el disseny del NRWSSP, que inclou l'assignació de fons als districtes i la preparació de directrius per a la seva implementació. Aquesta assignació de fons, que és el tema principal d'aquest cas, que s'analitza en els paràgrafs següents.

L'assignació prevista de recursos es deriva de tres principis generals:

- Els districtes amb menys cobertura rebran més fons per apropar el nivell de servei al nivell nacional. El 2004, la cobertura informativa per districte variava del 6.4 al 91.8%. El NRWSSP pretén que tots els districtes estiguin en el rang del 80% al 95% el 2025.

- Les tecnologies de subministrament d'aigua proposades i els costos relacionats es deriven de la combinació de tecnologies existents en cada districte, combinat amb opinions d'experts i un estudi d'avaluació de la demanda realitzat en 18 districtes.
- Les previsions d'inversions governamentals per al període 2005-2025 suposen que només el 25% de tots els sistemes rurals existents en el 2004 requeriran importants inversions per a la rehabilitació durant aquest període (Ministry of Water 2006, "5.6.1.3. Rehabilitation of Existing Systems"). A més la inversió de capital per a una rehabilitació important (en nombre) de sistemes s'assumeix que representa el 66% del cost associat a la construcció de nous sistemes d'aigua (per tecnologia). Com a resultat d'aquests dos supòsits, només s'han destinat US\$ 77 milions dels fons del govern per a la rehabilitació de la infraestructura preexistent (Ministry of Water 2006, "Appendix 5").

### 3. ANTECEDENTS TEÒRICS

Els tres conceptes bàsics per treballar en aquest cas d'estudi es presenten breument en aquesta secció: i) Anàlisi Econòmica de Cost – Benefici (ACB), ii) Teorema de la Funció Implícita (TFI), i iii) La Taxa Marginal de Substitució (TMS).

#### 3.1. ANÀLISI ECONÒMICA DE COST – BENEFICI (ACB)

Els principis econòmics que poden informar els debats sobre la política de l'aigua es basen en els conceptes de beneficis i costos. El marc general de cost–benefici (Boardman, 2006, Comissió Europea, 2015) pot proporcionar una comparació de les pèrdues i beneficis econòmics totals derivats d'una política d'aigües proposada (Brouwer i Pearce, 2005). L'enfocament s'utilitza com una tècnica analítica per mesurar l'eficiència econòmica de les accions públiques a partir de la traducció d'efectes positius i negatius a una mesura comuna (normalment, els diners). Per a les propostes de política pública de l'aigua, el benefici màxim de l'ús de l'aigua requereix que el govern formuli, implementi i avalui els seus programes de recursos hídrics utilitzant aquests principis econòmics. Utilitzant mètodes que es basen en principis econòmics provats, l'anàlisi cost-benefici pot proporcionar als responsables d'una decisió una comparació dels impactes de dues o més opcions de polítiques d'aigua.

Mitjançant aquesta metodologia, és possible examinar el creixement del benefici social derivat de l'aigua utilitzada en lloc de només examinar el creixement de la quantitat d'aigua utilitzada. L'eficiència econòmica, mesurada com la diferència entre els beneficis afegits i els costos afegits, podria informar els administradors de l'aigua i el públic sobre els impactes

econòmics dels programes d'aigua per abordar la pau, el desenvolupament, la salut, el medi ambient, el clima i la pobresa (Ward, 2012). La millora del subministrament d'aigua i el sanejament i la gestió dels recursos hídrics augmenta el creixement econòmic dels països i contribueix enormement a l'eradicació de la pobresa (SIWI, 2005).

L'anàlisi cost-benefici, en la pràctica, inclou la monetització dels costos i beneficis relacionats amb la salut, entre d'altres (Malloy-Good i Smith, 2008). Hi ha diferents opcions per fer-ho. Per exemple, es va desenvolupar l'enfocament DALY (Disability-Adjusted Life Year) a principis dels anys 90 per proporcionar una mesura més àmplia de salut que simplement "evitar morts". Els DALY van més enllà de classificar els individus com vius o morts i, en canvi, incorporen estàndards de salut a partir de pesos de discapacitat proporcionats per l'OMS. Com a resultat, "DALY mesura no només els anys de vida addicionals guanyats per una intervenció, sinó també la millora de la salut que la gent gaudeix com a conseqüència" (Jamison, 2006).

### 3.2. TEOREMA DE LA FUNCIÓ IMPLÍCITA (TFI)

En el càlcul multivariable, el teorema de la funció implícita permet que les derivades d'algunes variables es relacionin respecte a altres en un entorn d'un punt específic, donada una funció vectorial implícita que relaciona ambdós conjunts de variables. El teorema indica que si les equacions  $m$  representades per  $F(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_m) = F(x, y) = 0$  satisfan algunes condicions lleus en les seves derivades parcials (és a dir, amb  $F$  com a funcions contínuament diferenciables, i la matriu Jacobiana invertible de  $F$  respecte de  $y$ ,  $J_{F,y}(x, y)$ ), llavors es poden expressar les variables  $m$   $y_i$  en termes de les variables  $n$   $x_j$  com a  $y_i = f_i(x)$ , encara que no necessàriament amb una expressió analítica. D'altra banda, si es compleixen les condicions abans esmentades, i tenint en compte  $y = f(x)$ , es manté la següent relació:

$$\frac{\partial f}{\partial x_j}(x) = -J_{F,y}(x, f(x))^{-1} \frac{\partial F}{\partial x_j}(x, f(x))$$

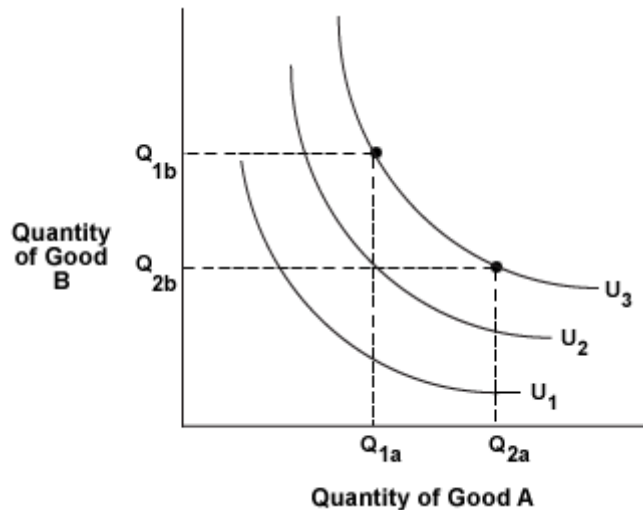
En particular, quan s'aborda un problema amb només dues variables  $x$  i  $y$  ( $m = n = 1$ ) subjectes a  $F(x,y)$  igual a un valor constant, l'equació anterior es pot simplificar i expressar en termes de les diferències de  $x$  i  $y$ :

$$\frac{\partial y}{\partial x}(x) = -\frac{\frac{\partial F}{\partial x}}{\frac{\partial F}{\partial y}} = -\left(\frac{dy}{dx}\right)_{F=0}$$

Aquesta expressió és la base del concepte de TMS (vegeu la secció següent).

### 3.3. TAXA MARGINAL DE SUBSTITUCIÓ (TMS)

Es pot trobar un ús pràctic de la funció implícita en el camp de l'economia. Concretament, aquest ús fa referència a la TMS, que és la taxa a la qual un consumidor està disposat a renunciar a un bé a canvi d'un altre bé mantenint el mateix nivell d'utilitat. Il·lustrativament, els dos béns diferents poden ser les variables "cost unitari" i "funcionalitat", i la utilitat podria estar associada al cost total del Programa.



**Figura 1** Corbes d'igual utilitat per a diferents quantitats de béns A i B.

Matemàticament, la TMS correspon al pendent d'una corba diferencial que passa per la combinació de consum en qüestió (derivada implícita). Tal com es mostra a la *Figura 1*, una corba diferencial connecta punts en un gràfic que representen diferents quantitats de dos béns, punts entre els quals un consumidor és indiferent. És a dir, el consumidor no té cap preferència per una combinació de béns sobre una combinació diferent al llarg de la mateixa corba.

Per tant, la TMS de x per y és la quantitat de y per a la qual un consumidor està disposat a intercanviar x localment, mantenint el mateix nivell d'utilitat (U).

$$MRS_{xy} = - \left( \frac{dy}{dx} \right)_{U=U_0} = \frac{\partial U}{\partial x} / \frac{\partial U}{\partial y}$$

Com a exemple: si la  $TMS_{xy} = 2$ , s'han de sacrificar dues unitats de y per obtenir una unitat addicional de x. Tingueu en compte que, en general, la TMS és diferent a cada punt de la corba diferencial.

#### 4. ACTIVITAT A L'AULA

Com es descriu a dalt, el NRWSSP s'implementa a través de la construcció o la rehabilitació de sistemes d'aigua. Els costos de millora a l'accés a l'aigua varien principalment amb la infraestructura, depenent de la tecnologia adoptada i de la població coberta. Els beneficis no es quantifiquen explícitament. Els objectius són fixos, i els beneficis se suposen implícitament que són més grans que els costos. En aquesta primera activitat, l'ACB s'utilitza per comprovar aquesta hipòtesi habitual.

En grups de tres o quatre estudiants, indiqueu els costos i els beneficis que cal tenir en compte per fer una anàlisi econòmica de cost-benefici. S'ha proporcionat la *Taula 1* per ajudar a l'alumnat a crear el llistat (Malloy-Good i Smith, 2008). S'han d'incloure tants beneficis i costos com sigui possible. A més, cal debatre aquests aspectes. És important tenir en compte que la taula no inclou altres tipus de costos i beneficis (mediambientals, sobreproducció, etc.), que, tanmateix, s'han d'incloure per a una anàlisi completa. Després de la identificació de costos i beneficis, els estudiants poden buscar maneres de quantificar-los, recollir totes les valoracions diferents i avaluar alternatives per a una intervenció específica. Els grups haurien de treballar en una proposta demostrativa d'utilitzar l'ACB sota la supervisió del docent.

**Taula 1** Plantilla per a la resolució de tasques.

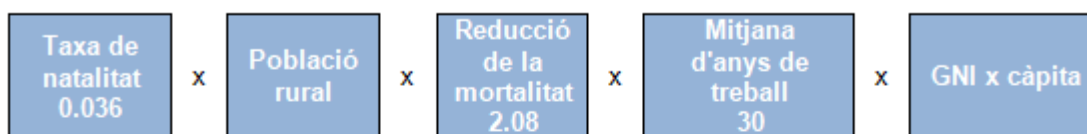
BENEFICIARI	BENEFICIS ECONÒMICS DIRECTES D'EVITAR LA MALALTIA DIARREICA	BENEFICIS ECONÒMICS INDIRECTES RELACIONATS AMB LA MILLORA DE LA SALUT	BENEFICIS NO SANITARIS RELACIONATS AMB LA MILLORA DE L'AIGUA I LA SANITAT

##### 4.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVALUACIÓ

Es presenta com a model una *Taula 1* completa (que s'ha de crear durant l'activitat a l'aula), on es presenten els beneficis econòmics derivats de millores en l'aigua i el sanejament. Les taules omplertes per l'alumnat haurien de ser discutides a classe per permetre incloure diferents nivells de beneficis i comparar-se amb els costos (inversió i manteniment) de la realització del programa.

BENEFICIARI	BENEFICIS ECONÒMICS DIRECTES D'EVITAR LA MALALTIA DIARREICA	BENEFICIS ECONÒMICS INDIRECTES RELACIONATS AMB LA MILLORA DE LA SALUT	BENEFICIS NO SANITARIS RELACIONATS AMB LA MILLORA DE L'AIGUA I LA SANITAT
Sector salut	- Menor despesa en el tractament de malalties diarreiques	- Valor de menys treballadors sanitaris que pateixen diarrees	- Medi ambient i efecte en els vectors més controlats
Pacients	- Menor despesa en el tractament de malalties diarreiques i costos relacionats - Menys despesa en el transport per buscar tractament - Menor pèrdua de temps a causa de la recerca del tractament	- Valor d'evitar els dies perduts a la feina o a l'escola - Valor d'evitar el temps perdut de tenir cura dels nadons malalts - Valor d'evitar la pèrdua de mort	- Medi ambient i efecte en els vectors més controlats
Consumidors			- Estalvi de temps relacionat amb la recollida d'aigua o accés a instal·lacions sanitàries; la facilitat d'accés al subministrament d'aigua allibera més temps per a la cura dels fills, la higiene domèstica, la preparació d'aliments, la relaxació, l'organització d'un mateix, l'educació i la producció. - Dispositius d'estalvi laboral a la llar - Canvi de fonts d'aigua més costoses - Augment del valor de la propietat - Activitats d'oci i valor de no utilització - Millora de l'assistència escolar (si els nens i les nenes estan a càrrec de les tasques de recollida d'aigua)
Sectors agrícola i industrial	- Menor despesa en el tractament dels empleats amb malaltia de diarrea	- Menor impacte en la productivitat dels treballadors malalts	- Beneficis per a l'agricultura i la indústria d'un subministrament d'aigua millorat - Estalvi de temps i/o ingressos - Generar tecnologies i canvis en l'ús del sòl

### MORTALITAT INFANTIL



Reducció de la mortalitat infantil	Assumint 30 anys de vida laboral mitjana		
Taxa natalitat	36/1000 persones		Reducció per any
Taxa de mortalitat infantil	2005	63.7	2.08
	2016	40.8	

	2005	2006	2007
Taxa de mortalitat infantil		2,591,267.24 US\$	2,858,520.42 US\$

Figura 2 Monetització de la reducció de la mortalitat infantil.

### ACB (2005 - 2025)

Any		2005	2006	2007
<b>Cost</b>		<b>15,338,000 US\$</b>	<b>22,085,000 US\$</b>	<b>24,353,000 US\$</b>
Beneficis	Diarrea	-	7,213,575 US\$	7,957,556
	Augment de la terra cultivada / productivitat agrícola	-	1,083,200 US\$	1,083,200 US\$
	Temps reduït	-	61,707,441 US\$	68,071,705 US\$
	Esperança de vida	-	158,442,498 US\$	174,783,638 US\$
	Mortalitat infantil	-	2,591,267 US\$	2,858,520 US\$
<b>Total</b>		<b>15,338,000 US\$</b>	<b>208,952,982 US\$</b>	<b>230,401,620 US\$</b>
Aplicant la taxa de descompte de 12%		15,338,000 US\$	186,565,162 US\$	183,674,761 US\$
<b>Total benefici</b>		<b>2,074,880,741 US\$</b>	<b>TRI</b>	<b>1,215%</b>

Figura 3 Exemple d'anàlisi cost-benefici (ACB).



La *Figura 2* mostra un exemple de monetització de la reducció de la mortalitat infantil en una ACB. La proposta va ser elaborada per un grup d'estudiants de primer any d'estudis d'Enginyeria Civil a Barcelona (UPC), curs 2017-2018, a les bases de Fink et al. (2011). Els passos per calcular el valor monetari són:

- Avaluar la taxa de natalitat de la població rural a Tanzània;
- Estimar la variabilitat de la mortalitat infantil amb millors condicions de subministrament i qualitat de l'aigua;
- Trobar un valor monetari per estimar el benefici de reduir la mortalitat infantil. En aquest cas, s'utilitza la productivitat aparent mitjana (en termes de PIB / capita) ajustat per cada any de vida laboral.

Tant les dades com els valors s'han d'adaptar a la informació disponible. En general, aquest enfocament subestima el valor real de la reducció, ja que només el mesura des de la contribució a la creació de riquesa, però permet que aquest benefici es monetitzi i s'afegeixi als altres beneficis i costos.

A la *Figura 3* es mostren alguns dels indicadors estàndard utilitzats en l'ACB. Els costos i beneficis dels primers 3 anys del programa es detallen explícitament. Tant els costos com els beneficis es resumeixen, i els fluxos monetaris s'expressen en termes constants utilitzant un impost de descompte del 12%, que és el valor social utilitzat en un país com Tanzània.

La suma d'aquests fluxos actualitzats permet obtenir dos indicadors bàsics d'una anàlisi cost-benefici: el Valor Actual Net (VAN) i la Taxa de Rendibilitat Interna (TRI). Un VAN positiu significa que el projecte ofereix més beneficis que costos. Els valors més alts del VAN impliquen un major benefici net creat pel projecte. Cal destacar que els beneficis no són financers, sinó una quantificació de les millores en la qualitat de vida de la població. D'altra banda, el TRI mostra la rendibilitat mitjana anual obtinguda. El TRI superior implica una major rendibilitat social del projecte.

### **Criteris d'avaluació**

Per proporcionar un sistema d'avaluació objectiu i transparent a l'alumnat, es proposa utilitzar una rúbrica (vegeu els *Annexos V i VI*). En resum, la rúbrica mostra: i) el coneixement que s'espera que l'alumnat adquireixi; i ii) els criteris utilitzats per avaluar el contingut de les respostes associades amb les activitats proposades.

Tenint en compte que aquest cas d'estudi es pot utilitzar en economia i en assignatures de càlcul, proporcionem dues rúbriques diferents. Per a aquesta avaluació de l'activitat,

s'utilitzen criteris comuns, ja que es suggereix que es realitzi independentment de si aquest material serà utilitzat per el camp de l'economia o per a classes de càlcul. Només cal destacar una petita diferència: si s'utilitza aquest cas per a un tema de càlcul, es detallarà una tasca addicional per respondre dins de la rúbrica, en què s'espera que els alumnes treballin en la dimensió del "compromís social" (vegeu l'*Annex VI*).

La rúbrica s'ha de proporcionar primerament a l'alumnat, per tal d'informar-lo de quina forma serà avaluat. Donar a l'alumnat una mica d'orientació pot ser necessari per permetre'l centrar-se en els objectius específics (en termes de respostes).

Per facilitar l'avaluació, cada grup ha de presentar (o donar en paper) les respostes al docent al final de la classe. Aquestes respostes s'avaluaran segons els criteris de la rúbrica. Tanmateix, el professor pot triar un mètode d'avaluació alternatiu que es pugui considerar més apropiat.

## 5. ACTIVITAT AUTÒNOMA FORA DE L'AULA

L'activitat autònoma fora de l'aula ha estat dissenyada per a grups reduïts (3 o 4 estudiants) i té una durada entre 6 i 8 hores.

Per a la resolució de l'exercici, es presenten les dades necessàries. A continuació es descriuen dues alternatives d'inversió: i) el procediment estàndard centrat en la construcció d'una nova infraestructura (Opció A); i ii) un enfocament alternatiu (Opció B), que considera que hi ha una disminució de la taxa de funcionalitat de l'infraestructura amb el temps, i que, per tant, cal considerar la rehabilitació de noves inversions dins del disseny del projecte.

Després d'aquesta presentació, es proposen les preguntes principals de l'activitat autònoma fora de l'aula.

### 5.1. DADES

#### La Combinació Tecnològica

Sobre la base de les poblacions que se'ls hi ha de facilitar un nou accés als serveis, la cobertura de subministrament d'aigua està desglossada per tipus de tecnologia durant tot el període del projecte (2005-2025). La combinació de tecnologies projectades per a l'any 2025 s'assembla molt a la combinació estimada de tecnologies que s'estan utilitzant actualment a tot el país. Per a aquesta activitat, aquestes tecnologies de punts d'aigua es simplifiquen amb només dos tipus:

- *"Bomba manual & pou poc profund"*. El pou és un forat profund que ha estat clavat, trepat o perforat, amb la finalitat d'aconseguir subministraments d'aigües subterrànies. Està construït amb entubaments o canonades que impedeixen que l'orifici de petit diàmetre s'enfonsi i protegeix la font d'aigua de la infiltració per l'aigua d'escorriment. L'aigua es subministra des d'un pou entubat o bé a través d'una bomba, que pot ser alimentada per mitjans humans, animals, eòlics, elèctrics, dièsel o solar.
- *"Sistema de bombament & canalització"*. Es defineix com una canonada de servei d'aigua connectat amb la instal·lació de fontaneria interna d'una casa a una o més aixetes (p. Ex., a la cuina i al bany).

### Necessitats de subministrament d'aigua

Les futures necessitats a complir pel Programa van ser determinades intentant satisfer (o superar) tres criteris al nivell del Programa i del districte. Basant-se en les dades del cens de 2002, els nivells de cobertura actuals i la satisfacció d'aquests objectius, es va determinar la quantitat de sistemes necessaris per a cada districte, que es van distribuir durant el temps de vida del projecte. La pestanya "Sistemes" de l'*Annex 1* mostra els sistemes necessaris per construir cada any per a completar la cobertura de cada districte. A la *Taula 2*, es resumeix la quantitat total de sistemes que s'han de construir durant tot el període del projecte. En aquest cas d'estudi, es consideren només 10 districtes.

**Taula 2** Nivells de cobertura en nombre de sistemes a construir

NOM DE LA REGIÓ	2005 - 2025	
	BOMBA MANUAL & POU POC PROFUND (Num. Sistemes)	SISTEMA DE BOMBAMENT & CANALITZACIÓ (Num. Sistemes)
Dodoma	1,518	1,021
Iringa	2,111	106
Tabora	5,429	1,092
Mara	8,762	2,667
Kilimanjaro	2,942	0
Shinyanga	9,882	923
Mbeya	14,865	2,597

Morogoro	7,100	1,523
Kagera	14,719	967
Mwanza	3,294	1,230
<b>TOTAL</b>	<b>70,622</b>	<b>12,126</b>

### Costos unitaris

Els proveïdors del projecte han determinat costos unitaris per a totes les tecnologies, tant per a la construcció com per a la rehabilitació. Les xifres es presenten a la pestanya "Costos unitaris" de l'Annex 1. La inversió de capital en la major rehabilitació del sistema se suposa que representa el 60% del cost dels nous serveis d'abastament d'aigua.

### Finançament

S'han estimat els fons disponibles per a la durada dels anys del projecte. Els fons es proporcionen tal com es mostra a la Taula 3 pel govern de Tanzània, ONGs i donants internacionals.

**Taula 3** Fonts de finançament

FONT	2005 - 2025 (US\$)
Govern de Tanzània	412,512,800
Donants	551,816,367
Organitzacions No Governamentals	112,100,000
<b>TOTAL</b>	<b>1,076,429,167</b>

**Taula 4** Costos totals relatius a l'Opció A

NOM DE LA REGIÓ	2005 - 2025 (US\$)
Dodoma	71,795,500
Iringa	15,755,750
Tabora	92,961,250
Mara	207,926,500
Kilimanjaro	12,503,500

Shinyanga	101,070,500
Mbeya	229,384,250
Morogoro	127,647,000
Kagera	124,443,750
Mwanza	92,719,500
<b>TOTAL</b>	<b>1,076,207,500</b>

## 5.2. ALTERNATIVES D'ASSIGNACIÓ: OPCIÓ A

A partir de les dades presentades, és possible definir què tant el cost dependrà de com es du a terme el projecte. Tenint les estimacions de costos, és interessant analitzar diferents opcions sobre com invertir i distribuir els fons.

La primera opció, Opció A, representa com el NRWSSP planificava i duia a terme el projecte, bàsicament construint els sistemes necessaris durant el període del projecte. En aquesta opció, els fons considerats són només els necessaris per construir nous sistemes. Això no inclou la rehabilitació dels nous sistemes que no funcionin.

### Costos de l'opció A

És possible determinar el cost de cada any del projecte, així com el cost total de la implementació. Per això, es multipliquen els sistemes necessaris per als costos unitaris de construcció. La pàgina "Cost (Opció A)" de l'*Annex 1* presenta com es distribueixen els costos durant el projecte. A la *Taula 4* es resumeixen els costos totals. Es veu clarament que els fons són suficients per cobrir totes les inversions detallades a la *Taula 3* (p. Ex., US\$ 1,076,429,167).

## 5.3. ALTERNATIVES D'ASSIGNACIÓ: OPCIÓ B

Tal com s'indica en estudis anteriors, una proporció de tots els sistemes (és a dir, aquells que ja estan en funcionament al principi del programa i els que estan instal·lats recentment) requereixen re-inversions substancials per continuar proporcionant un servei adequat en algun moment, tinguent en compte el calendari del programa. Aquesta opció introdueix el concepte de rehabilitació dels sistemes "morts" durant el període del projecte i opta per

considerar aquestes rehabilitacions com a part del propi programa. Els valors de les taxes de funcionalitat per tecnologia es calculen a partir de la monitorització de dades disponibles.

### El Mapeig de Punts d'aigua de WaterAid

L'enfocament del mapeig de punts d'aigua (WPM de les sigles en anglès) es va dissenyar com un procediment per mesurar l'accés a l'aigua a les zones rurals. WPM es pot definir com "un exercici pel qual es recullen les posicions geogràfiques de tots els punts d'aigua millorats (WP de les sigles en anglès) d'una àrea, a més de la informació de gestió, la informació tècnica i demogràfica. Aquesta informació es recopila a través de GPS i es realitza un qüestionari per a cada WP. Les dades s'introdueixen en un sistema d'informació geogràfica i es correlacionen amb dades demogràfiques, administratives i físiques disponibles. La informació es mostra a partir de mapes digitals "(Welle, 2005). WPM ha estat utilitzat àmpliament per WaterAid i altres ONGs en diversos països africans durant diversos anys, sent utilitzat per primera vegada a Tanzània el 2005. Fins ara, s'han mapejat 51 dels 132 districtes de Tanzània i el govern de Tanzània planeja ampliar-ho a tot el país. WPM calcula la cobertura a través de la densitat, que és igual al nombre de WP millorats per cada 1,000 habitants (Stoupy i Sudgen, 2003; Jiménez i Pérez-Foguet, 2008).

Entre 2005 i 2006, WaterAid va recopilar dades de 5921 WP millorats a 15 districtes. Com a resultat, es va estimar el percentatge de WP funcionals al llarg dels anys per a diferents tecnologies. La *Taula 5* presenta les taxes de funcionalitat per a dues d'elles. La funcionalitat de les bombes manuals – funcionant amb el temps – va disminuir del 61% en els primers cinc anys al 13% en el període de 25 anys. De la mateixa manera, els sistemes de bombament i els sistemes de canonades van començar amb el 66% de funcionalitat, però va disminuir fins al 22% en el període de 25 anys.

**Taula 5** Percentatge de punts d'aigua funcionals per tecnologia. Adaptació de: Jimenez i Pérez-Foguet 2011a

Tecnologia	Punts d'aigua funcionals (%)					
	+25 anys	25 – 20 anys	20 – 15 anys	15 – 10 anys	10 – 5 anys	5-0 anys
Pou poc profund i bomba manual	13	29	41	51	61	100
Sistema de bombament o canonada, amb alimentació elèctrica o diesel	22	45	48	62	66	100

### Rehabilitació dels sistemes no funcionals

Un cop coneguda la mortalitat dels sistemes, es pot determinar la quantitat de sistemes per a rehabilitar durant el projecte. Aquesta opció contempla només la rehabilitació dels sistemes construïts durant el projecte; després de la rehabilitació, el sistema rehabilitat esdevé nou en el futur. La *Taula 6* mostra que no hi ha cap sistema en condició de ser rehabilitat durant el primer període. En el segon període, cal considerar els sistemes no funcionals del primer període. Així, el total dels nous sistemes del segon període són la suma dels sistemes construïts en el primer període que es rehabiliten, a més dels de nova construcció. En el tercer període es realitza el mateix càlcul excepte que els sistemes no funcionals dels dos períodes anteriors es consideren en diferents percentatges i, de manera conseqüent, per al quart període. La pestanya "Rehabilitació" de l'*Annex 1* mostra les dades completes de tots els districtes durant el projecte.

**Taula 6** Nombre de sistemes per a rehabilitar.

2005 - 2010		2011 - 2015		2016 - 2020		2021 - 2025	
Bomba manual & Pou poc profund	Sistema de bombament únic & de canonades	Bomba manual & Pou poc profund	Sistema de bombament únic & de canonades	Bomba manual & Pou poc profund	Sistema de bombament únic & de canonades	Bomba manual & Pou poc profund	Sistema de bombament únic & de canonades
(sistemes)	(sistemes)	(sistemes)	(sistemes)	(sistemes)	(sistemes)	(sistemes)	(sistemes)
0	0	6,615	765	11,861	1,217	11,599	2,142

### Costos de l'opció B

En aquest cas, i per obtenir el cost estimat, els sistemes de nova construcció s'han de multiplicar per la unitat de construcció. A més, és també necessària la multiplicació de les han estat rehabilitades per la unitat de rehabilitació de cada tecnologia. Com era d'esperar, el cost total és superior a l'opció anterior. Per tant, els fons no són suficients per cobrir tots els costos del projecte.

Per fer front a aquest problema, es considera una reducció de les inversions. El percentatge de reducció s'obté dividint el cost total de l'opció pels fons disponibles. El resultat mostra que és possible cobrir els districtes en el 82% del servei, de manera que es consideri que l'opció possible ha de ser només de construir el 82% de la previsió inicial de sistemes, per tenir fons suficients. Aquestes relacions es mostren a la pestanya "Cost (Opció B)" de l'*Annex 1* i aquí a la *Taula 7*.

**Taula 7** Cost total en relació a l'opció B.

NOM DE LA REGIÓ	2005 - 2025 (US\$)	2005 - 2025 (US\$) - 82% construcció -
Dodoma	83,055,269	68,183,009
Iringa	20,787,336	17,065,059
Tabora	107,313,848	88,097,736
Mara	240,021,582	197,042,210
Kilimanjaro	14,317,593	11,753,819
Shinyanga	132,056,873	108,410,160
Mbeya	296,865,306	243,707,234
Morogoro	164,773,727	135,268,583
Kagera	143,706,670	117,973,890
Mwanza	108,324,563	88,927,466
<b>TOTAL</b>	<b>1,311,222,766</b>	<b>1,076,429,167</b>

#### 5.4. EXERCICI 1

Per a aquest exercici, els estudiants treballaran en grups reduïts, que poden ser els mateixos o diferents grups que per a l'activitat realitzada a l'aula. La proposta requereix realitzar una anàlisi dels resultats presentats prèviament, aprofitant l'automatització del càlcul gràcies a l'ús sistemàtic d'un full de càlcul. Es proposen les següents preguntes per apropar-se al problema real de triar entre les estratègies d'implementació i els criteris de distribució del pressupost, tenint en compte la influència de diferents tecnologies:

- A l'*Annex 1*, a la pestanya "Anàlisi", es proporciona una comparació dels dos enfocaments d'implementació del projecte. En concret, es presenta la variació de la quantitat de sistemes en servei al llarg del temps. Descriu breument els gràfics resultants i les implicacions d'executar cada opció. Feu una llista detallada i discuteix els pros i els contres de cada opció. Quina opció implementarieu?
- Tingueu en compte els nous percentatges de funcionalitat i costos unitaris. Per fer-ho, canvieu les dades de les pestanyes "Costos unitaris" i "% funcionals" que es



proporcionen a l'Annex 1 tal com s'especifica a continuació. Podrien ser prou importants com per canviar la decisió d'una opció?

**a) Escenari 1:** Cost unitari i disminució de la taxa de funcionalitat ("més barat però menys robust")

**Taula 8** Ajustament de dades per a l'escenari 1

Tecnologia	Cost unitari / sistema (US\$)	
	Construcció	Rehabilitació
Pou poc profund i bomba manual	3,500	2,100
Sistema de bombament o canonada, amb alimentació elèctrica o diesel	52,706	31,624

Tecnologia	Punts d'aigua funcionals (%)					
	+25 anys	25 – 20 anys	20 – 15 anys	15 – 10 anys	10 – 5 anys	5-0 anys
Pou poc profund i bomba manual	9	19	27	33	40	100
Sistema de bombament o canonada, amb alimentació elèctrica o diesel	14	23	33	41	43	100

**b) Escenari 2:** Cost unitari i augment de la taxa de funcionalitat ("més car però més durador").

**Taula 9** Ajustament de dades per a l'escenari 2

Tecnologia	Cost unitari / sistema (US\$)	
	Construcció	Rehabilitació
Pou poc profund i bomba manual	5,000	3,000
Sistema de bombament o canonada, amb alimentació elèctrica o diesel	75,294	45,176

Tecnologia	Punts d'aigua funcionals (%)					
	+25 anys	25 – 20 anys	20 – 15 anys	15 – 10 anys	10 – 5 anys	5-0 anys
Pou poc profund i bomba manual	17	38	54	67	80	100
Sistema de bombament o canonada, amb alimentació elèctrica o diesel	29	46	66	81	87	100

- Finalment, s'inclouen noves dades per a prioritzar l'"Opció B": la població total al 2025 i la precipitació mitjana anual per regió (vegeu la *Taula 10*). Tenint en compte que els fons totals no es canvien, i tenint en compte tota la informació disponible, reflexiona sobre les possibles estratègies i proposa alternatives a la reducció del tipus fix del 82%. Si els fons del projecte fossin variables, ¿podries proposar maneres d'augmentar-los?

**Taula 10** Població estimada a Tanzània el 2025 i precipitacions anuals mitjanes de 1982-2012, per regió

NOM DE LA REGIÓ	POBLACIÓ TOTAL 2025 (milers de persones)	PRECIPITACIÓ ANUAL MITJANA (1982 - 2012) (mm)
Dodoma	3,306	500 - 750
Iringa	209	750 - 1,000
Tabora	2,720	750 - 1,000
Mara	4,226	750 - 1,000
Kilimanjaro	1,673	500 - 750
Shinyanga	4,891	1,000 - 1,250
Mbeya	7,292	750 - 1,000
Morogoro	4,967	750 - 1,000
Kagera	7,108	1,500 - 1,750
Mwanza	4,642	1,000 - 1,250

## 5.5. EXERCICI 2

En aquest segon exercici, la referència utilitzada és l'Opció B, tal com s'ha definit prèviament, però amb un finançament suficient per cobrir tots els districtes al 100%. A més, per a la simplificació, només s'inclouen dos paràmetres inicialment a l'anàlisi: i) els costos unitaris d'un pou poc profund & d'una bomba manual ( $C_c$ ); i ii) la seva funcionalitat en el període dels primers 5 anys ( $F_5$ ). Aquestes variables s'identifiquen a l'Annex 2 amb color de fons. Quan es modifiquen els seus valors, tots els resultats del full de càlcul s'actualitzen.

El punt de partida de l'exercici s'ajusta amb els valors inicials que es detallen a l'Annex 2. Es considera que els nous constructors de punts d'aigua ofereixen diferents costos unitaris per a un pou poc profund & una bomba manual, juntament amb les noves taxes de funcionalitat del sistema d'aigua. L'objectiu principal d'aquest exercici és avaluar fins a quin punt val la pena acceptar aquests canvis. Per fer-ho, es proposen els següents passos:

- Els valors existents de  $C_c$  i  $F_5$  a l'Annex 2 (pestanyes "Unitat de costos" i "% funcionals") s'han de modificar d'acord amb els valors que es proporcionen a la taula següent. Després, el cost total estimat (T) s'hauria d'omplir on correspongui.

	$F_5 = 41$	$F_5 = 51$	$F_5 = 61$	$F_5 = 71$	$F_5 = 81$
$C_c = 4,050$					
$C_c = 4,150$					
$C_c = 4,250$			1,311,222,766		
$C_c = 4,350$					
$C_c = 4,450$					

- El cost total (T) varia linealment amb aquestes dues variables? El cost total és lineal en  $C_c$ ? I en  $F_5$ ? Justificar i explicar els resultats obtinguts.
- La TMS entre tots dos paràmetres ( $C_c$ ,  $F_5$ ) a (4.250, 61) s'hauria d'aproximar amb diferències incrementals de primer ordre. Quina és la seva unitat de mesura de la  $TMS_{F_5, C_c}$ ? Expliqueu breument el seu significat. Quins valors de ratios incrementals proposeu per a les derivades aproximades? Justifica'ls.

$$TMS_{F_5, C_c} = - \left( \frac{dC_c}{dF_5} \right) = - \left( \frac{\frac{dT}{dF_5}}{\frac{dT}{dC_c}} \right) \quad \text{amb} \quad \frac{dT}{dF_5} \approx \frac{\Delta T}{\Delta F_5} \quad \text{and} \quad \frac{dT}{dC_c} \approx \frac{\Delta T}{\Delta C_c}$$

- S'estableix un nou escenari. Els nous proveïdors garanteixen una funcionalitat del 85% ( $F_5 = 85$ ) durant els primers 5 anys, tant per a pous poc profunds com per a bombes manuals. Quant estariem disposats a pagar per aquests nous sistemes? Utilitzeu el concepte TMS per calcular el valor límit. Un cop calculat, comproveu si el mateix cost total (T), pel que fa a la situació inicial, s'obté substituint els nous valors de les variables.

$$T(C_{C_{4.250}}, F_{561}) = T(C_{C_X}, F_{585})$$

- En general, els costos unitaris varien segons la tecnologia, tal com es presenta a l'Exercici 1. D'aquesta manera, hi haurà més de dues variables d'interès des d'un punt de vista segons la TMS, p. Ex. dos costos unitaris i dos tipus de funcionalitat durant els primers cinc anys (un parell de paràmetres per tecnologia, com a mínim). Expliqueu com utilitzar el Teorema de la Funció Implícita per calcular les derivades de qualsevol d'aquestes variables respecte a les altres, tot considerant costos fixos. Quins són els punts clau a tenir en compte per resoldre el problema en aquests casos generals?

## 5.6. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVALUACIÓ

### Solució per a l'Exercici 1

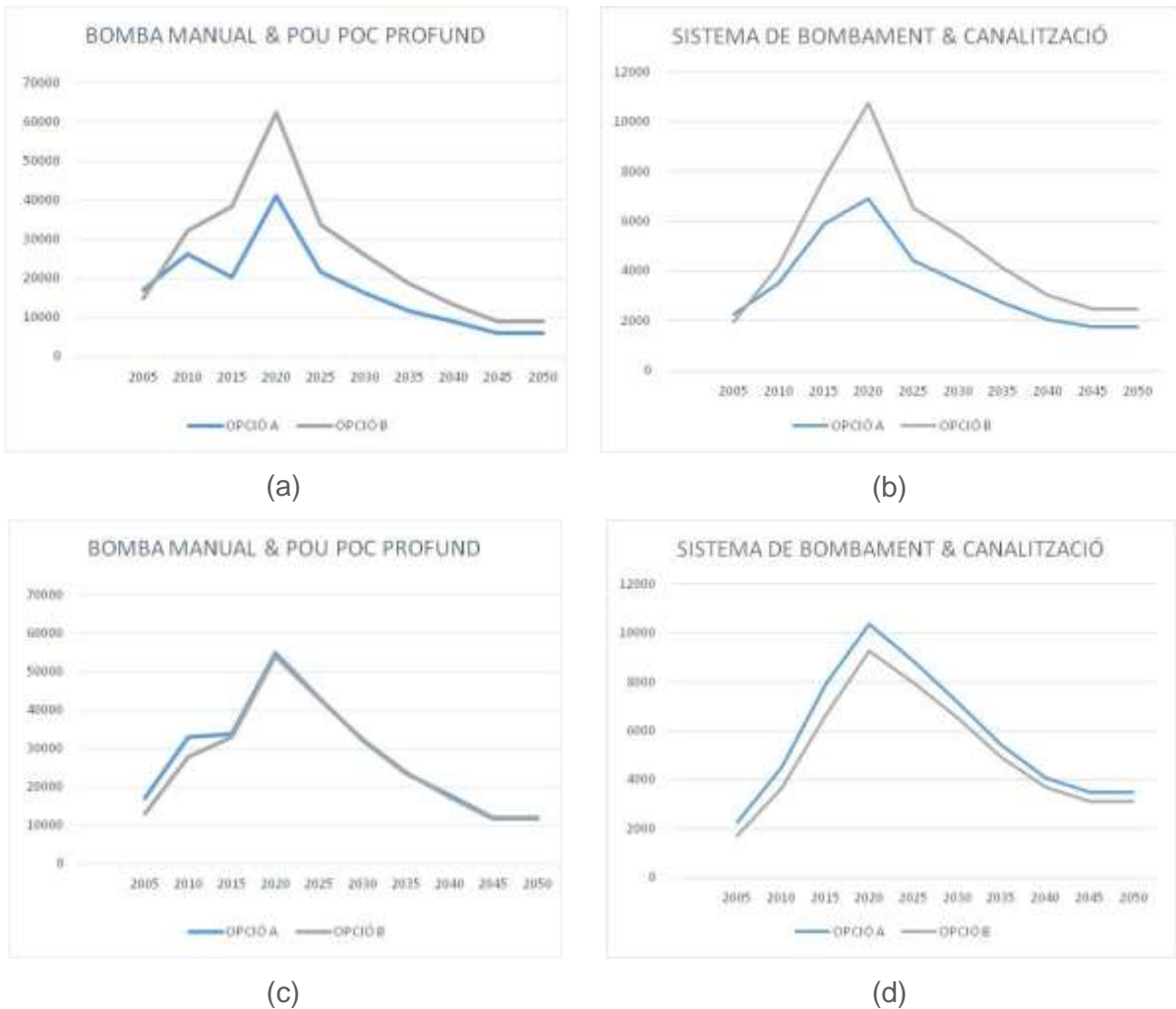
Les xifres que figuren a l'Annex 1 (pestanya "Anàlisi") mostren l'impacte de considerar la rehabilitació del sistema durant l'execució del Programa. Durant el primer període d'implementació del projecte (p. Ex., els primers 5 anys), l'Opció A proporciona més servei que l'Opció B. No obstant això, a mesura que passa el temps, l'Opció B garanteix una major quantitat de sistemes en servei. Per tant, es pot concloure que la millor opció és considerar i assegurar la rehabilitació dels sistemes, tot i que només cobreix un percentatge parcial de la població. Aquest enfocament aborda tant els aspectes de sostenibilitat dels sistemes com de tot el Programa a llarg termini. A la Taula 11, es presenten els pros i els contres més destacats.

**Table 11** Pros i contres de l'Opció A i Opció B (al 82% de la inversió)

OPCIÓ A		OPCIÓ B (82%)	
Pros	Contres	Pros	Contres
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Més servei a curt termini</li> <li>- No hi ha necessitat de tenir en compte diversos problemes tècnics</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mortalitat de molts sistemes i pèrdua de material</li> <li>- Costos unitaris cars</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Més servei a llarg termini</li> <li>- Explotació més efectiva dels recursos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor cobertura de població</li> <li>- Necessitat de monitoritzar sistemes d'aigua al llarg del temps</li> </ul>

Per als diferents escenaris proposats, el primer estableix una disminució dels costos unitaris i la funcionalitat. En aquest cas, es fa palès una notable diferència quan la rehabilitació del sistema s'integra en la implementació del projecte (Opció B). Les *Figures 4a i 4b* mostren que incloure la rehabilitació resulta obtenir un major nombre de sistemes funcionals al llarg del temps. Com a exemple, al 2020, els sistemes en servei gairebé es dupliquen. Paral·lelament, cal destacar que el percentatge de població servida arriba al 89%. Per tant, en el primer escenari, l'opció d'integració de la rehabilitació és preferible a l'opció de construir només nous sistemes d'aigua (per exemple, l'Opció B és preferible a l'Opció A).

El segon escenari es defineix per majors costos de construcció i rehabilitació unitària, però també per la taxa de funcionalitat associada. Els resultats d'aquest escenari es presenten a les *Figures 4c i 4d*. En aquest cas, quan s'aplica un enfocament de l'Opció B, només el 77% de la població està coberta. Tenint en compte que la rehabilitació de serveis no presenta una diferència notable, l'Opció A sembla més adequada per a aquest segon escenari.



**Figura 4** Evolució del temps dels sistemes hidràulics funcionals. Escenari 1 (a, b) i Escenari 2 (c, d).

Comparant ambdós escenaris, i tenint en compte que el cost total de la implementació del projecte és constant, es podria concloure que, amb baixes taxes de funcionalitat, la integració de la rehabilitació en l'enfocament de planificació comporta una solució més adequada a llarg termini. Tanmateix, si la taxa de funcionalitat és alta, fins i tot els costos unitaris i de rehabilitació augmenten, de manera que considerar la rehabilitació no modifica els resultats generals del projecte. Per tant, aquests factors (cost unitari i funcionalitat) són rellevants per decidir entre ambdues opcions. L'Opció A, que s'implementa dins del NRWSSP, correspon a la hipòtesi d'altres taxes de funcionalitat.

D'altra banda, tal com s'indica, el veritable procés de presa de decisions pot afegir noves variables o aspectes al problema. Tenint en compte la selecció de l'enfocament de l'Opció B com a punt de partida, un pas següent podria dependre de com implementar el programa i els costos totals associats. Per a això, es consideren les dades relatives a la població estimada per al 2025, es calcula el cost per persona coberta i s'afegeix la precipitació mitjana anual per regió (vegeu *Taula 12*).

**Taula 12** Cost total per persona coberta i precipitació mitjana anual per regió

NOM DE LA REGIÓ	Total pob. 2025	Cost total	Cost per persona coberta	Precipitació mitjana anual (1982 - 2012)
	(milers de persones)	US\$	(US\$/persona)	(mm)
Dodoma	3,306	83,055,269	25.12	500 - 750
Iringa	209	20,787,336	99.39	750 - 1,000
Tabora	2,720	107,313,848	39.45	750 - 1,000
Mara	4,226	240,021,582	56.80	750 - 1,000
Kilimanjaro	1,673	14,317,593	8.56	500 - 750
Shinyanga	4,891	132,056,873	27.00	1,000 - 1,250
Mbeya	7,292	296,865,306	40.71	750 - 1,000
Morogoro	4,967	164,773,727	33.17	750 - 1,000
Kagera	7,108	143,706,670	20.22	1,500 - 1,750
Mwanza	4,642	108,324,563	23.34	1,000 - 1,250

Tenint en compte tota la informació disponible, es podrien desenvolupar diferents alternatives per a la implementació del projecte.

- Una primera alternativa podria ser donar prioritat a aquelles regions on la quantitat de precipitació associada sigui inferior a un llindar establert (per exemple, inferior a 750 mm). D'aquesta manera, augmentarà la cobertura de regions més vulnerables, pel que fa als aspectes climàtics.
- Una segona alternativa podria cobrir, en primer lloc, aquelles regions on els costos per persona són més baixos. En aquest cas, seria possible assolir el 100% de cobertura en algunes regions i aconseguir menys del 82% presentat en altres regions.
- En canvi, una tercera alternativa podria ser donar prioritat a aquelles regions on el cost per persona és més elevat. Això implicaria que la població amb menys cost per persona pagués aquests costos.
- Si es pot augmentar el finançament total, una quarta opció podria implicar la població i la societat civil en la millora de la cobertura nacional. Es podrien estimar els fons necessaris per cobrir tota la població, així com els costos associats per persona per cada regió o municipi. Com a resultat, es crearien específics i probablement diferents mecanismes de cofinançament per assolir els objectius d'equitat geogràfica desitjats, però tots ells es basarien en un interès comú per l'enteniment de les normes de cofinançament.

No es proporcionen càlculs específics per a cada alternativa, ja que l'objectiu d'aquesta part de l'activitat és mostrar diferents punts de vista quan es tracten els processos de presa de decisions. Tanmateix, cada alternativa ha d'estar relacionada amb una anàlisi quantitativa per tal d'analitzar la idoneïtat, els beneficis i els inconvenients de cadascuna d'elles.

## Solució per a l'Exercici 2

En aquest exercici, el problema es simplifica a dues variables ( $C_c$  i  $F_5$ ); variant-les, s'obtenen diferents valors de T. Els resultats es detallen a la taula següent:

	$F_5 = 41$	$F_5 = 51$	$F_5 = 61$	$F_5 = 71$	$F_5 = 81$
$C_c = 4,050$			1,249,518,165		
$C_c = 4,150$			1,280,370,466		
$C_c = 4,250$	1,467,302,250	1,384,446,369	1,311,222,766	1,246,715,606	1,190,009,053
$C_c = 4,350$			1,342,075,067		
$C_c = 4,450$			1,372,927,367		

La linealitat d'ambdues variables es pot verificar de forma gràfica, representant el cost total contra el cost unitari i la taxa de funcionalitat. Els costos unitaris són clarament lineals amb el cost total. Això és coherent ja que, tenint en compte la mateixa quantitat de sistemes que s'han de construir i rehabilitar, el cost total augmenta o disminueix proporcionalment amb els costos unitaris. D'altra banda, el cost total no és lineal amb la funcionalitat. La mateixa reducció o increment de la taxa funcional no representa la mateixa variació del cost total. Això es deu al fet que la quantitat de sistemes de rehabilitació en cada període depèn no només del pas anterior sinó de tots els anteriors.

A continuació es mostren els valors del càlcul de la TMS. El resultat expressat amb les unitats és l'increment de  $C_c$  per l'unitat d'increment de  $F_5$ , mantenint un valor fix per a T.

$$\frac{dT}{dC_c} = \frac{\Delta T}{\Delta C_c} = \frac{1,342,075,067 - 1,280,370,466}{4,350 - 4,150} = 308,523 \quad \text{Incr. T per unitat d'incr. } C_c$$

$$\frac{dT}{dF_5} = \frac{\Delta T}{\Delta F_5} = \frac{1,246,715,606 - 1,384,446,369}{71 - 51} = -6,886,538 \quad \text{Incr. T per unitat d'incr. } F_5$$

$$TMS_{F_5, C_c} = - \left( \frac{dC_c}{dF_5} \right) = - \left( \frac{\frac{dT}{dF_5}}{\frac{dT}{dC_c}} \right) = - \frac{-6,886,538}{308,523} = 22.321 \quad \text{Incr. } C_c \text{ per unitat d'incr. } F_5 \text{ amb valor fix T}$$

Per a la funció lineal, l'aproximació de la derivada és independent del increment; en canvi, això no passa amb la relació no lineal. En el límit, el valor de la diferència de l'increment és igual al valor de la derivada. Una anàlisi específica que considera increments unilaterals de mida descendent il·lustra aquest fet. Es pot introduir gràficament el concepte de l'ordre d'aproximació. Els resultats obtinguts prèviament es poden comparar amb els d'una aproximació de derivades centrades de segon ordre. Recordem que les aproximacions de derivades amb ratios incrementals es poden justificar utilitzant el teorema de Taylor.

Finalment, l'escenari proposat estableix un valor específic per a una de les variables ( $F_5 = 85\%$ ). A partir de l'expressió TMS, es pot calcular l'increment de  $C_c$ , en relació amb l'increment  $F_5$  proposat i especificat a continuació:

$$\Delta C_c = TMS_{F_5, C_c} \cdot \Delta F_5 = 22,321 (85 - 61) = 535.7 \text{ US\$}$$

Així, el cost unitari màxim que s'està disposat a pagar per augmentar el percentatge de funcionalitat és:

$$C_c = 4,250 + 535.7 = 4,785.7 \text{ US\$}$$



Si els nous valors del cost unitari i la funcionalitat es col·loquen a l'*Annex 2* (pestanyes "costos unitaris" i "% funcionals"), el cost total és bàsicament igual al inicial.

$$T(4,785.7; 85) = 1,316,693,985 \text{ US\$}$$

Finalment, en considerar la interacció de diverses variables, s'ha d'utilitzar l'expressió general del teorema implícit. Per a això, el primer pas és seleccionar la quantitat correcta de funcions de costos que cal tenir en compte. Per exemple, si es consideren els dos costos unitaris ( $C_1$  i  $C_2$ ) i les dues taxes de funcionalitat dels primers cinc anys ( $F_1$  i  $F_2$ ) i la TMS dels costos de les taxes de funcionalitat són d'interès ( $TMS_{F,C} = -dC/dF$ ), es necessiten dues funcions de cost constant. Sense més requisits, podrien ser les inversions dels dos primers períodes de cinc anys, o les inversions totals parcials de les dues tecnologies.

Per lo tant, a més de relacionar adequadament el nombre de variables i funcions, la matriu Jacobiana de les funcions de cost pel que fa a les variables diferenciadores ha de ser invertible (tècnicament, almenys a un entorn del punt d'interès). Per tant, cal comprovar l'estructura i els valors d'aquesta matriu Jacobiana per a cada cas específic. Considerem el cas amb les dues funcions de cost iguals als costos parcials dels dos primers períodes de cinc anys,  $T_1$  i  $T_2$ , en aquest cas la Jacobiana,

$$J_{T,F}(F, C(F)) = \begin{pmatrix} \frac{dT_1}{dF_1} & \frac{dT_1}{dF_2} \\ \frac{dT_2}{dF_1} & \frac{dT_2}{dF_2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \frac{dT_2}{dF_1} & \frac{dT_2}{dF_2} \end{pmatrix},$$

perquè  $T_1$ , el cost parcial del primer període, no depèn de les taxes de funcionalitat (ni  $F_1$  ni  $F_2$ ). Per tant, aquesta selecció no és útil per al càlcul de la  $TMS_{F,C}$ . En canvi, si les dues funcions de cost són iguals a les inversions totals parcials per tecnologia, és fàcil comprovar que la Jacobiana és diagonal. El cost total d'una tecnologia no depèn de la taxa de funcionalitat de l'altra. Per tant, aquesta segona opció no només és possible, sinó que és una opció especialment bona des del punt de vista matemàtic; la Jacobiana és invertible, i la inversa és diagonal.

### **Criteris d'avaluació**

Per avaluar aquesta activitat, es sol·licitarà un informe de cada grup en el qual es presentarà tota l'activitat resolta.

Per a l'avaluació específica de l'informe, es recomana utilitzar les rúbriques presentades prèviament (vegeu els *Annexos V i VI*), i específicament per als aspectes tècnics identificats a les rúbriques.

Si aquest estudi de cas és utilitzat per un professor d'economia, només cal dur a terme l'Exercici 1. Com a conseqüència, també s'ha d'utilitzar la rúbrica corresponent (vegeu l'*Annex V*). En canvi, per a les lliçons de càlcul, es recomana treballar només amb l'Exercici 2 i utilitzar la rúbrica relacionada (vegeu l'*Annex VI*).

No obstant això, proposem la col·laboració entre professors d'aquestes dues assignatures, compartint un context comú i treballant utilitzant diferents eines. En aquest sentit, s'ha de presentar una rúbrica comuna als estudiants per tal de no repetir i avaluar aspectes dues vegades.

D'aquesta manera, aquestes rúbriques representen un possible instrument per facilitar l'avaluació de les activitats proposades en el seu conjunt. Com s'esmenta anteriorment, el professor és lliure d'escollir un mètode alternatiu.

## AGRAÏMENTS

Agraïm a Miquel Iranzo (Universitat Politècnica de Catalunya) per a la preparació del material, i Alejandro Jiménez Fernández de Palencia (SIWI) per a la supervisió i l'assessorament.

## BIBLIOGRAFIA

Boardman, N. E. 2006. Cost-benefit Analysis: Concepts and Practice (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. ISBN 0-13-143583-3.

Brouwer, R., Pearce, D. 2005. Cost–Benefit Analysis and Water Resources Management. GMPG Books Ltd, Bodmin, Cornwall, Great Britain.

European Commission (2015), Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects or Cohesion Policy 2014-2020. Available from:  
<[http://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba\\_guide.pdf](http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf)> [February 2018].

Fink, G., Günther, I., Hill, K. (2011) The effect of water and sanitation on child health: evidence from the demographic and health surveys 1986–2007” International Journal of Epidemiology, Volume 40(5): 1196-1204. doi: 10.1093/ije/dyr102.

Giné Garriga, R., Pérez-Foguet, A. 2008. “Sustainability Assessment of national rural water supply program in Tanzania”. Natural Resources Forum 32, 327–342. doi: 10.1111/j.1477-8947.2008.00213.x

Jamison, D. T. 2006. Priorities in Health. Washington, DC: World Bank. Available from:  
<<http://hdl.handle.net/10986/7045>> [February 2018].

Jiménez, A., Pérez-Foguet, A. 2008. “Improving Water Access Indicators in Developing Countries: A Proposal Using Water Point Mapping Methodology”. Water Science and Technology: Water Supply 8, 279-287. doi: 10.2166/ws.2008.072.

Jiménez, A., Pérez-Foguet, A. 2010a. “Challenges for Water Governance in Rural Water Supply: Lessons Learned from Tanzania”. International Journal of Water Resources Development 26, 235–248. doi: 10.1080/07900621003775763.

Jiménez, A., Pérez-Foguet, A. 2010b. "Building the Role of Local Government Authorities Towards the Achievement of the Human Right to Water in Rural Tanzania". *Natural Resources Forum* 34, 92–105. doi: 10.1111/j.1477-8947.2010.01296.x.

Jiménez, A., & Pérez-Foguet, A. 2011a. Water Point Mapping for the Analysis of Rural Water Supply Plans: Case Study from Tanzania. *Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE*, 137(5), 439–447. doi:10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000135.

Jiménez, A., Pérez-Foguet, A. 2011b. "The Relationship Between Technology and Functionality of Rural Water Points: Evidence from Tanzania". *Water Science and Technology* 63, 948–955. doi:10.2166/wst.2011.274.

Jiménez, A., Pérez-Foguet, A. 2011c. "Implementing Pro-poor Policies in a Decentralized Context: The Case of the Rural Water Supply and Sanitation Program in Tanzania. *Sustainability Science* 6, 37–49. doi:10.1007/s11625-010-0121-1.

Jiménez, A., Pérez-Foguet, A. 2012. "Quality and Year-round Availability of Water Delivered by Improved Water Points in Rural Tanzania: Effects on Coverage. *Water Policy* 14, 509-523. doi: 10.2166/wp.2011.026.

Malloy-Good S., Smith K. 2008. Cost-Benefit Analysis of Improved Water and Sanitation for Women and Girls in Sub-Saharan Africa. Columbia University School of Social Work Economics for International Affairs. Available from:

<[https://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/MALLOY%20GOOD%20and%20SMITH%20et%20al%202008%20CostBenefit%20Analysis%20of%20Improved%20Water%20and%20Sanitation.pdf](https://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MALLOY%20GOOD%20and%20SMITH%20et%20al%202008%20CostBenefit%20Analysis%20of%20Improved%20Water%20and%20Sanitation.pdf)> [February 2018].

Ministry of Water. 2006. National Rural Water Supply and Sanitation Programme (NRWSSP). United Republic of Tanzania, Dodoma, Tanzania.

SIWI (2005) Making Water a Part of Economic Development: The Economic Benefits of Improved Water Management and Services. Available from:

<<http://www.sivi.org/publication/making-water-a-part-of-economic-development-the-economic-benefits-of-improved-water-management-and-services/>> [February 2018].

Stoupy, O., Sudgen, S. 2003. Halving the Number of People without Access to Safe Water by 2015 - A Malawian Perspective. Part 2: New indicators for the millennium development goal. WaterAid. Available form:

<[http://ec.europa.eu/echo/files/evaluation/watsan2005/annex\\_files/Wateraid/WA1%20-%20Halving%20proportion%20without%20safe%20water%20in%20Malawi.pdf](http://ec.europa.eu/echo/files/evaluation/watsan2005/annex_files/Wateraid/WA1%20-%20Halving%20proportion%20without%20safe%20water%20in%20Malawi.pdf)> [February 2018].

Ward, F. A. 2012. "Cost–benefit and Water Resources Policy: A Survey". *Water Policy* 14, 250–280. doi: 10.2166/wp.2011.021

Welle, K. (2005). Learning for Advocacy and Good Practice. WaterAid Water Point Mapping: Water and Sanitation Mapping: A Synthesis of Findings. WaterAid Report. Available from: <<https://www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/3838.pdf>> [February 2018].

WSSCC. 2014. Wash Targets and Indicators Post-2015: Recommendations from International Consultations Comprehensive Recommendations. Water Supply and Sanitation Collaborative Council.

## ANNEXOS

- I. Exercici 1 versió estudiant <A.I\_Exercici 1\_ estudiant.xlsx>
- II. Exercici 1 versió professor <A.II\_Exercici 1\_professor.xlsx>
- III. Exercici 2 versió estudiant <A.III\_Exercici 2\_ estudiant.xlsx>
- IV. Exercici 1 versió professor <A.IV\_Exercici 2\_professor.xlsx>
- V. Rúbrica d'avaluació per a la part d'economia  
<A.V\_Avaluacio\_rubrica\_economia.pdf>
- VI. Rúbrica d'avaluació per a la part de càlcul <A.VI\_ Avaluacio \_rubrica\_calcul.pdf>



**GDEE**

GLOBAL  
DIMENSION IN  
ENGINEERING  
EDUCATION

<http://www.gdee.eu>



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

**UAB**

Universitat Autònoma  
de Barcelona

Aquest projecte està finançat per:



**Ajuntament  
de Barcelona**

# Explorant l'Ús d'Àrids Reciclats per a la Dosificació del Formigó: Una Alternativa per Haití?

David Requejo Castro i Miren Etxeberria



FOTO: "Refugi permanent", Haití, Ramona Yraida Romano Grullon





# CASOS D'ESTUDI **Explorant l'Ús d'Àrids Reciclatats per a la Dosificació del Formigó: Una Alternativa per Haití?**

## EDITAT PER

Engineering Sciences and Global Development Research Group,  
Universitat Politècnica de Catalunya

## COORDINAT PER

David Requejo-Castro, Ricard Giné-Garriga  
i Agustí Pérez-Foguet (*Universitat Politècnica de Catalunya*)

DL B 5492-2018

ISBN: 978-84-697-9614-6

Aquesta obra està publicada sota  
una llicència Creative Commons  
Reconeixement - No comercial  
- CompartirIgual



Citació: Requejo-Castro, D., i Etxebarria, M. 2018. "Explorant l'Ús d'Àrids Reciclatats per a la Dosificació del Formigó: Una Alternativa per Haití?".  
A Casos d'Estudi per Integrar i Promoure Problemàtiques Globals a l'Aula d'Enginyeria Civil. ESsGD (eds.). Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona.  
Disponible a: <http://www.eduglobalstem.cat/recursos/>

Descàrrec de responsabilitat: Aquest document ha estat produït amb el suport financer de l'Ajuntament de Barcelona. El contingut d'aquest document és responsabilitat exclusiva dels autors i sota cap circumstància pot considerar-se que reflecteix la posició de l'Ajuntament de Barcelona.

# 2

## EXPLORANT L'ÚS D'ÀRIDS RECICLATS PER A LA DOSIFICACIÓ DEL FORMIGÓ: UNA ALTERNATIVA PER HAITÍ?

**David Requejo Castro**, Universitat Politècnica de Catalunya.

**Miren Etxeberria**, Universitat Politècnica de Catalunya.

## ÍNDEX

<b>1. INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>3</b>
1.1. DISCIPLINES COBERTES .....	4
1.2. RESULTATS D'APRENTATGE.....	4
1.3. ACTIVITATS .....	4
<b>2. DESCRIPCIÓ DEL CONTEXT</b> .....	<b>5</b>
2.1. UNA MIRADA A HAITÍ .....	5
2.2. DESASTRES NATURALS .....	6
2.3. CONTEXT SOCIAL.....	7
2.4. ASPECTES MEDIAMBIENTALS .....	9
2.5. ASPECTES ECONÒMICS.....	11
2.6. ASPECTES DE GOVERNANÇA .....	12
2.7. SECTOR DE L'HABITATGE .....	12
<b>3. ACTIVITAT A L'AULA</b> .....	<b>15</b>
3.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVUACIÓ.....	17
<b>4. ACTIVITAT AUTÒNOMA FORA DE L'AULA</b> .....	<b>20</b>
4.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVUACIÓ.....	24
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>36</b>

## 1. INTRODUCCIÓ

L'any 2015, els líders mundials van adoptar l'Agenda 2030 per al Desenvolupament Sostenible i els seus 17 Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS). Aquests nous Objectius globals són únics en el sentit que s'insta a tots els països (ja siguin rics, pobres o d'ingressos mitjans) a adoptar mesures per a promoure la prosperitat alhora que protegeixen el planeta. Els ODS reconeixen que les iniciatives per acabar amb la pobresa han d'anar de la mà d'estratègies que afavoreixin el creixement econòmic i abordin una sèrie de necessitats socials, entre les quals cal assenyalar l'educació, la salut, la protecció social i les oportunitats d'ocupació, a alhora que lluiten contra el canvi climàtic i promouen la protecció del medi ambient (United Nations).

Específicament, l'Objectiu 11 es proposa "aconseguir que les ciutats siguin inclusives, segures, resilents i sostenibles". Aquest es centra en 10 Metes<sup>1</sup>. Entre elles, la cinquena Meta (11.5) insta "per al 2030, reduir significativament el nombre de morts causades pels desastres, inclosos els relacionats amb l'aigua, i de persones afectades per ells, i reduir considerablement les pèrdues econòmiques directes provocades pels desastres en comparació amb el producte intern brut mundial, fent especial èmfasi en la protecció dels pobres i les persones en situacions de vulnerabilitat".

La resiliència, com a creixent interès internacional, és un element central a l'agenda de les ciutats d'avui. L'augment dels fenòmens meteorològics extrems i dels desastres naturals ha posat de manifest la necessitat que les ciutats augmentin la seva capacitat per resistir els riscos que puguin patir, i mitigar i respondre aquests riscos de manera que es minimitzi l'impacte d'aquests fenòmens en la infraestructura social, ambiental i econòmica de la ciutat (United Nations Human Settlements Programme, 2016).

Amb això en ment, ens agradaria presentar el context d'Haití i, en particular, els efectes devastadors del terratrèmol del 2010 a Haití, que va mesurar 7.0 en l'escala de Richter. Amb 1.2 milions de persones que es van quedar sense llar, aquest desastre natural és considerat una de les majors catàstrofes humanitàries de la història. A més a més, és un clar exemple que ens anima a aconseguir la Meta 11.5.

En aquest cas, els estudiants seran convidats a pensar i debatre sobre les complexitats d'aquest context. A més, es treballaran aspectes tècnics sobre dosificació de formigó, i específicament aquells relacionats amb l'ús dels àrids reciclats com a alternativa potencial per a situacions posteriors a desastres.

---

<sup>1</sup> Descripció del les Metes de l'Objectiu 11 a <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>.

## 1.1. DISCIPLINES COBERTES

Bàsicament, aquest cas d'estudi cobreix la disciplina dels materials de construcció. Concretament, es centra en l'ús d'àrids convencionals i reciclats per a l'elaboració del formigó. L'objectiu és aprofundir en diversos aspectes relacionats amb la fabricació dels materials de construcció més populars del món.

També s'aborden problemes relacionats amb la cooperació per al desenvolupament. I finalment, atès que les activitats proposades es duen a terme en grups reduïts, aquest cas d'estudi ha de promoure el treball en equip i, en definitiva, estimular un debat general a l'aula.

## 1.2. RESULTATS D'APRENTATGE

Com a resultat d'aquest cas d'estudi, s'espera que l'alumnat sigui capaç de:

- Conèixer els indicadors emprats a nivell global, per a mesurar aspectes importants com el desenvolupament humà, la igualtat de gènere i la pobresa;
- Analitzar críticament aquests indicadors tenint en compte els seus impactes directes i indirectes;
- Comprendre la complexitat d'un context post-desastre;
- Aplicar la metodologia relacionada amb la dosificació de formigó utilitzant tant àrids naturals com àrids reciclats.

## 1.3. ACTIVITATS

Després de presentar a l'alumnat la descripció del context, l'activitat de classe els animarà a pensar en les complexitats associades a una situació post-desastre. També se'ls demanarà que reflexionin sobre els diferents impactes relacionats amb diversos aspectes. A més, estaran en condicions de prendre decisions i defensar els seus arguments.

D'altra banda, també es requerirà un treball tècnic fora de l'aula. En primer lloc, els estudiants treballaran sobre la definició de dosificació de formigó, tant per a l'ús d'àrids naturals com per àrids reciclats. En segon lloc, se'ls demanarà que elaborin una proposta de transferència de coneixements a professionals menys qualificats.

## 2. DESCRIPCIÓ DEL CONTEXT

En aquesta secció, es proporciona una contextualització detallada d'Haití amb l'objectiu d'apropar a l'alumnat a la comprensió d'una situació de post-desastre. Es presenta informació rellevant relacionada amb el país per permetre a l'alumnat comprendre la situació anterior al catastròfic terratrèmol del 2010. Per això, s'expliquen breument els aspectes socials, ambientals, econòmics i de governança. Paral·lelament, també es presenten els impactes del desastre dins d'aquests aspectes. Finalment, es dona una visió general del sector de l'habitatge per dur a terme, juntament amb la informació anterior, les activitats proposades.

### 2.1. UNA MIRADA A HAITÍ

Haití (oficialment, República d'Haití) és un país situat a la illa La Española a l'arxipèlag de les Antilles del Mar Carib. Ocupa un terç occidental de l'illa, que comparteix amb la República Dominicana. Haití té 27,750 quilòmetres quadrats i té aproximadament 10.6 milions d'habitants (382 hab/km<sup>2</sup>), convertint-se en el país més poblat de la Comunitat del Carib (CARICOM) i el segon país més poblat del Carib.

Tal com es reflecteix a l'Informe sobre el Desenvolupament Humà (United Nations Development Programme, 2016), Haití es caracteritza per un Índex de Desenvolupament Humà<sup>2</sup> (IDH) de 0.493, que el situa en el grup de països amb un baix nivell d'IDH; ocupa la classificació 163 (de 185 països) i està per sota de Senegal i per sobre d'Uganda i Sudan. L'IDH ajustat (IDHI), que reflecteix les disparitats entre la població pel que fa als ingressos, salut i educació, és de 0.298, un 40% menys que l'IDH corresponent. Això demostra que Haití és un dels països més desiguals, amb un coeficient GINI<sup>3</sup> de 0.61 (on un valor de 0 significa que tothom té els mateixos ingressos i un valor de 1 significa que una persona té tots els ingressos).

Per afrontar els reptes del desenvolupament, Haití, va adoptar el 2007 una Estratègia Nacional ("National Strategy Paper") sobre el creixement i la reducció a la pobresa (DSNCRP de les sigles en anglès) per un període de tres anys (2008-2010). L'objectiu a llarg termini del DSNCRP era aconseguir que Haití sortís de la categoria de països menys desenvolupats, millorant les condicions de vida de la població i reduint la pobresa (United Nations Development Programme, 2013). A més d'aquest enorme desafiament, Haití s'ha vist obligat a fer front a diversos desastres naturals, com el terratrèmol del 2010 que va atreure l'atenció internacional a aquest país.

---

<sup>2</sup> Informació detallada sobre la construcció de l'índex a <http://hdr.undp.org/en>

<sup>3</sup> Podeu trobar més informació a <http://data.worldbank.org/indicator/SI.POV.GINI>

## 2.2. DESASTRES NATURALS

Després de 240 anys d'inactivitat, la Falla de Enriquillo-Plantain Garden es va trencar el 12 de gener de 2010 a les 16:53 hora local, el que va provocar un terratrèmol que va arribar a mesurar 7.0 a l'escala de Richter, a prop de la capital, Port-au-Prince. Els efectes del terratrèmol a Haití han estat devastadors (*Figura 1*). Més de 150,000 cossos havien estat recuperats abans del 25 de gener, i el nombre oficial de morts va arribar als 200,000. Més de 250,000 persones van patir lesions, sovint devastadores, i 1.2 milions de persones es van quedar sense llar. El terratrèmol d'Haití de 2010 és considerat una de les catàstrofes humanitàries més importants de la història (Audefroy, 2011).



**Figura 1** Impactes a les infraestructures del centre de Port-au-Prince<sup>4</sup> (esquerra) i edifici presidencial<sup>5</sup> (a la dreta).



**Figure 2** Impactes associats amb l'huracà Matthew<sup>6</sup>.

El 4 d'octubre de 2016, l'illa del Carib es va veure afectada per la categoria 4 de l'huracà Matthew, que va ser el desastre més devastador des del terratrèmol de 2010 (*Figura 2*).

---

<sup>4</sup> Font: [https://www.wired.com/2010/04/ff\\_haiti](https://www.wired.com/2010/04/ff_haiti)

<sup>5</sup> Font: [www.bahamaslocal.com/newsitem/1203](http://www.bahamaslocal.com/newsitem/1203)

<sup>6</sup> Fonts: <http://www.scmp.com/news/world/united-states-canada/article/2026252/storm-lashes-florida-after-killing-more-800-haiti>; <http://www.daily-sun.com/post/173344/Haiti-hurricane-death-toll-double-to-800>

Matthew va afectar a 1.125 milions de persones al país. El govern haitià va avaluar el nombre de morts a 546, tot i que altres fonts van reportar més de tres vegades aquesta xifra. Es van destruir completament més de 500 escoles, i van quedar danyades 3,400 escoles públiques i privades. A la península del sud d'Haití, un terç de tots els hospitals es van veure afectats. Les pèrdues en l'agricultura, la ramaderia i la pesca es van estimar en 600 milions de dòlars americans (The World Bank, 2017).

Haití seguirà sent vulnerable als desastres naturals. Situat al centre de la conca del Carib, el 96% de la població d'Haití viu en constant perill de dos o més riscos. A més, Haití s'ha identificat recentment com un dels països més vulnerables al canvi climàtic. Aquestes observacions han estat confirmades per la tendència alarmant en els desastres successius: 56 desastres reconeguts internacionalment, incloent 20 desastres importants al segle XX i 5 grans desastres en els últims 12 anys (Government of the Republic of Haiti, 2010; The World Bank, 2017; Audefroy, 2011) (*Taula 1*).

**Taula 1** Resum dels últims cinc desastres a Haití. Fonts: Government of the Republic of Haiti, 2010; The World Bank, 2017.

Esdeveniment	Efecte sobre el PIB (PIB = US\$ 7.900 milions)	Persones afectades	Morts
2004 Huracà Jeanne	7% of PIB	300,000	5,000
2007 Huracà Dean and Noel	2% of PIB	194,000	330
2008 Huracà Fay, Gustav, Hanna, and Ike	15% of PIB	1,000,000	800
2010 Terratrèmol	100% of PIB	2,000,000	200,000
2016 Huracà Matthew	22% of PIB	1,125,000	546
<b>TOTAL</b>		<b>4,619,000</b>	<b>206,676</b>

### 2.3. CONTEXT SOCIAL

Abans del terratrèmol, els drets humans bàsics de molts haitians no s'havien assolit: el dret al treball, a la seguretat i la protecció contra l'explotació, a la no discriminació, a la salut i a l'educació, al degut procés i a la igualtat de gènere (Govern de la República d'Haití, 2010).

La majoria dels haitians no disposen de jubilació, ni de seguretat social, ni d'estalvis. La distribució d'ingressos és particularment desigual a Haití: l'1% més ric té la mateixa riquesa que el 45% de la població més pobre (United Nations Development Programme, 2013).



Una enquesta laboral provisional realitzada per l'Institut d'Estadística i Informàtica d'Haití (IHSI) el 2007 mostra un augment significatiu de la pobresa a les zones urbanes (Government of the Republic of Haiti, 2010), on viu el 58.6% de la població (United Nations Development Programme, 2013). No obstant això, els nivells de pobresa més grans encara es troben en zones rurals (Government of the Republic of Haiti, 2010).

La taxa neta d'inscripció en l'educació primària ha augmentat constantment del 47% el 1993 al 88% el 2011. No obstant això, els anys d'escolarització mitjana són de 3.9 i 6.6 per a les dones i els homes, respectivament. En contrast amb la matriculació a l'educació primària, el percentatge de dones i homes majors de 25 anys amb almenys una educació secundària és del 26% i del 37%, respectivament (United Nations Development Programme, 2013).

El treball a realitzar per la igualtat de gènere es va iniciar fa dues dècades. Es van signar protocols amb els Ministeris de Justícia, Salut i Educació per garantir que el gènere fos tingut en compte. Les dones ocupen més del 20% de les posicions governamentals, però només el 4.3% dels escons al parlament (United Nations Development Programme, 2013). Tanmateix, encara existeixen clàusules discriminatòries en algunes lleis i regles, i els estereotips sexistes continuen, igual que la violència contra les dones. Hi ha hagut una resposta institucional deficient, i el pressupost per promoure els drets de les dones és molt insuficient. Encara no s'han recollit dades específiques del sexe, no obstant això, els índexs internacionals reflecteixen l'existència d'un nivell significatiu de desigualtat. Per exemple, Haití es caracteritza per un Índex de desigualtat de gènere (GII) de 0.593 (amb el qual un valor de 1 està relacionat amb una alta discriminació).



**Figura 3** Deteriorament de les condicions de vida entre els ciutadans d'Haití <sup>7</sup>.

Després del terratrèmol d'Haití, les condicions de vida creixen de manera visible, tant per als homes com per a les dones (Figura 3). L'accés als serveis bàsics d'aigua i sanejament són

---

<sup>7</sup> Fonts: <https://www.mprnews.org/story/2010/02/11/haitians-help-themselves/>;  
<http://nicholaskrlev.com/2010/03/18/donate-miles-or-money-to-haiti/>

del 65% i del 34%, respectivament, a les zones urbanes. En el context rural, aquests valors són molt inferiors, un 48% i un 19%, respectivament (Joint Monitoring Programme, 2015).

En el terratrèmol del 2010, el nombre de víctimes mortals entre els joves va ser alt: 75,000. Ara, després del terratrèmol, s'han reportat 103,000 casos de nens sense cap tipus de protecció familiar. Aquests nens tenen un major risc de violència i explotació i no tenen accés a serveis bàsics, sistemes de suport ni assessorament. Els joves han deixat d'assistir a l'escola. La situació dels joves als camps de refugiats és especialment fràgil. Per a la majoria, els conceptes de relaxació, desenvolupament i entreteniment són conceptes buits. Hi ha hagut un nombre creixent de persones amb necessitats especials (discapacitats físiques i mentals). Hi ha una qualitat més baixa de suport i assistència a persones en situacions complicades associades a problemes emocionals derivats de la pèrdua de familiars i amics. L'oficina central del Ministeri de la Dona va patir greus danys. S'ha produït un augment de la promiscuïtat i els problemes amb la violència sexual. Les dones i altres grups amb necessitats especials (nens del carrer, orfes, gent gran, malalts, etc.) són ara més vulnerables (Government of the Republic of Haiti, 2010).

#### 2.4. ASPECTES MEDIAMBIENTALS

Els profunds desequilibris eren presents tant en l'entorn natural com en l'humà abans del terratrèmol. Aquests eren deguts a: i) pobresa aguda; ii) una economia basada en gran mesura en la subsistència; iii) un context geològic, geomorfològic i climàtic que exposava el país a un ampli espectre de fenòmens naturals perillosos; i iv) una incapacitat crònica dels sistemes de governança per garantir l'eficàcia i la viabilitat de la gestió dels recursos i del sòl, la gestió del risc de desastres i el control de la contaminació, ja sigui en entorns naturals, rurals o urbans (Government of the Republic of Haiti, 2010).

L'erosió de les conques hidrogràfiques, la mala gestió dels residus sòlids i líquids a causa de l'assentament de barris marginals, i l'absència de gestió integrada dels recursos hídrics han provocat una disminució quantitativa i qualitativa de l'aigua disponible (Government of the Republic of Haiti, 2010 ).

El clima d'Haití és tropical, amb certa variació en funció de l'altitud. Hi ha dues estacions plujoses: d'abril a juny i d'octubre a novembre. Com a exemple, Port-au-Prince rep una precipitació mitjana anual de 1,370 mm. Haití està sotmès a sequeres i inundacions periòdiques, que són més severes a causa de la desforestació.

La cobertura forestal nacional, que correspon al residu del terreny forestal natural, havia estat estimat entre un 3% i un 4% (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2000; 2005). Per contra, una investigació més recent augmenta aquest valor fins a un 30%

(Churches et al., 2014). La proporció de boscos és el resultat directe de la gran demanda d'energia domèstica, on el 72% d'aquesta és coberta per combustible de fusta (Government of the Republic of Haiti, 2010).

Pel que fa a la gestió de residus sòlids i aigües residuals, la situació no era millor abans del terratrèmol (*Figura 4*). Els residus sòlids no es gestionaven adequadament; la incineració no controlada de muntanyes de residus era la norma a pràcticament tot el país, la qual cosa comportava una contaminació atmosfèrica constant. D'altra banda, la major part de l'aigua utilitzada a les zones urbanes es transformava amb aigua residual i, d'una manera o altra, tornava al medi natural sense cap tipus de tractament. Haití no té cap forma de xarxa moderna de clavegueram o sistemes de tractament d'aigües residuals (Government of the Republic of Haiti, 2010).



**Figure 4** *Impactes ambientals associats a la gestió de residus sòlids i aigües residuals*<sup>8</sup>.

Alguns dels impactes del terratrèmol estaven relacionats: amb l'extensa destrucció d'edificis i equipaments pertanyents al Ministeri de Medi Ambient (MDE) i diversos col·laboradors; i amb la pèrdua substancial de capacitats tècniques i memòria institucional, que en alguns casos fins i tot incloïa la desaparició total d'una institució (per exemple, el Centre Nacional d'Informació Geoespacial). A la vegada, hi ha un risc de contaminació de l'aigua per culpa dels residus i les runes de cases col·lapsades. La vulnerabilitat de la població s'ha incrementat a causa que algunes de les víctimes del terratrèmol es refugien a les ribes del riu, a prop de barrancs o a prop de la costa. Amb l'augment del preu del combustible de fusta, els recursos forestals són més buscats que mai i estan subjectes a pressió addicional. Hi ha, per tant, un veritable risc d'agreujar la degradació de la terra i reduir la quantitat i qualitat dels béns i serveis ambientals, com ara la producció d'aigua, la productivitat del sòl, la diversitat biològica i la protecció contra les inundacions i l'erosió. Els problemes estructurals relatius a la gestió de residus sòlids i aigües residuals s'han ampliat en

---

<sup>8</sup> Fonts: <https://jordanmarieackerman.wordpress.com/category/southern-methodist-university/>; <http://www.hcdpinc.org/waste.php>

proporció a les conseqüències del terratrèmol. Hi ha munts de deixalles al carrer, que obstaculitzen el trànsit de vehicles i vianants. Aquests bloquegen els desguassos, fent que les ciutats siguin molt vulnerables a les inundacions. El terratrèmol ha agreujat significativament les condicions sanitàries, especialment en els camps de refugiats, on encara no es disposa de instal·lacions sanitàries mínimes (com les latrines). En molts llocs, les latrines no són apropiades per manca d'espai i també perquè els pous i els contenidors necessiten un buidatge constant. A més, els efectes de les estacions plujoses agreugen aquests problemes sanitaris i ambientals (Government of the Republic of Haiti, 2010).

## 2.5. ASPECTES ECONÒMICS

Haití continua sent el país més pobre d'Amèrica, i es troba entre els 20 països més pobres del món, amb un Producte Interior Brut (PIB) de USD 7.900 milions i un PIB per habitant de 719 dòlars (International Monetary Fund, 2017). Segons les últimes enquestes sobre les Condicions de Vida a les Llars (ECVMAS, per les seves sigles en francès), després del terratrèmol, l'any 2012, més de 6 milions d'haitians, d'un total de 10.6 milions (56%), viuen sota el llindar de pobresa, amb 2.42 dòlars per dia, i més de 2.5 milions (24%) viuen sota el llindar d'extrema pobresa, amb 1.23 dòlars EUA per dia.

Segons l'Avaluació de les Necessitats Post-Desastre (PDNA de les sigles en anglès) a l'any 2010, la contribució del sector agrícola (inclosa la ramaderia, la silvicultura i la pesca) al PIB real ha baixat del 30% a principis dels anys noranta, fins el 25.2%. La contribució de la indústria al PIB (inclosa la construcció) és del 25%, i el comerç (inclosos els hotels i restaurants) contribueix amb un 27%. El sector agrícola és el primer en ocupació, amb gairebé el 50% de la població activa, seguit del turisme i el transport (el 28% de la població) i la indústria (10.4% del treball i el comerç). Les estimacions mostren que el 90% de totes les persones que treballen en la indústria i el comerç es troben en el sector informal. Només el 2% de les persones treballadores estan en el sector públic.

Una enquesta sobre el jovent d'Haití realitzada abans del terratrèmol (FAFO, 2009) va mostrar que el 35% de les persones entre els 15 i els 24 anys estaven a l'atur. La majoria, principalment noies i dones joves, es dedicaven a tasques domèstiques no remunerades (Government of the Republic of Haiti, 2010).

El terratrèmol va causar pèrdues de llocs de treball perquè es van destruir els llocs on la gent anava a treballar, equipament, estocs, l'accés als mercats i fonts d'energia. L'ocupació es va veure afectada indirectament per la contracció del mercat, la pèrdua de finançament i la pèrdua de personal qualificat i, per tant, es va tornar menys competitiva. Les principals pèrdues van ser en el sector serveis (educació, salut, transport, turisme). Les dones es van

veure especialment afectades pel sector comercial (treballant des de casa, al carrer o als mercats).

## 2.6. ASPECTES DE GOVERNANÇA

Tal com es reflecteix a l'Informe del PDNA (2010), les qüestions relacionades amb la governança van patir greus impactes. Abans del terratrèmol, l'administració pública d'Haití ja patia greus problemes estructurals. Igual que les altres institucions nacionals, no tenia la confiança de la població, que la percebia incapaç de subministrar serveis essencials i d'estar afectada per la corrupció endèmica. La manca d'habilitats tècniques i diligència i la manca de recursos va limitar enormement la capacitat de satisfer les demandes de serveis bàsics de la població. Després del terratrèmol, l'administració pública ha sofert pèrdues humanes i materials molt elevades. La destrucció d'equips d'oficina, arxius i dades informàtiques ha afectat a diversos ministeris clau que es trobaven en edificis afectats, el que constitueix un dany important pel sector.

L'estat de dret, la justícia i la seguretat també es trobaven en una situació difícil abans del terratrèmol. Les reformes implementades (especialment les lleis de 2007) havien tingut poc impacte; l'accés al servei de justícia pública era molt difícil. El sistema no era gaire eficaç i la independència del poder judicial era problemàtica. Pel que fa a la seguretat, tot i que la reforma del 2006 va millorar la situació, els recursos humans i materials van continuar sent insuficients. Al voltant del 80% del sector de la justícia a Port-au-Prince es va veure afectat pel terratrèmol, amb 49 edificis del sector de la justícia danyats i els arxius en gran part destruïts. L'activitat judicial ha estat considerablement reduïda. El terratrèmol portarà a moltes disputes de la llei civil, que serà més difícil per l'absència de registres de la propietat i problemes amb els registres de naixements, matrimonis i defuncions.

## 2.7. SECTOR DE L'HABITATGE

Com s'ha explicat en McWilliams & Griffin (2013):

"Com a conseqüència del terratrèmol de 2010, s'ha calculat que hi ha hagut aproximadament 250,000 llars i 30,000 llocs de treball i botigues destruïdes o malmeses. A causa de l'ús de tècniques de construcció deficientes d'Haití, i l'ús general de formigó, el terratrèmol de magnitud 7.0 va causar més del doble de destrosses que qualsevol altre esdeveniment registrat prèviament d'aquesta magnitud. Encara que la situació d'Haití després del terratrèmol ha atret el finançament i la solidaritat, s'ha tingut en compte el suport a llarg termini per a la construcció sostenible d'edificis i de resistència sísmica. Les avaluacions posteriors al desastre han revelat que la majoria de la destrucció d'Haití va ser causada simplement per la mala qualitat dels materials de construcció, que van



resultar massa febles per resistir les forces laterals i horitzontals generades pel terratrèmol” (Audefroy, 2011) (Figura 5).



**Figura 5** A l'esquerra: les lloses de formigó pesades abastaven espais oberts de més de tres metres. A la dreta: el pes de les lloses va fer que els edificis s'enfonsessin com una torre de cartes. Font: Audefroy, 2011.

Enginyers, arquitectes i científics entre d'altres, ja han reconegut que el procés de construcció és disfuncional si no hi ha codis d'edificació i hi ha incentius econòmics per tallar pressupostos. Tot i la consciència que s'ha tingut sobre les tècniques de construcció deficientes, els enginyers i arquitectes encara proposen sistemes destinats a ser perillosos una vegada es produeixi el proper desastre a causa de l'ús continuat de maçoneria i formigó. No només l'ús de formigó és econòmicament i mediambientalment insostenible, sinó que també és el material més vulnerable quan les ones sísmiques arriben a la superfície. Gairebé tots els edificis destruïts en el terratrèmol del 2010 eren construccions deficientes, sense estar previament dissenyades, de maçoneria i de formigó. A més de les mesclades de formigó mal considerades i la manca de reforç dels edificis, el pes total de la gran massa dels edificis va causar la majoria de lesions i morts.

A causa dels recursos mínims, les construccions haitianes dels edificis recents i dels que s'han esfondrat en el terratrèmol del 2010 van ser compactats amb mesclades de formigó de baixa qualitat (Fierro, 2010). A l'hora de barrejar el formigó, els treballadors i constructors locals faran servir la sorra de pitjor qualitat i guardaran la sorra més valuosa (o de millor qualitat) per l'estuc exterior dels edificis. Com a resultat, més del 90% de totes les estructures a Haití no poden suportar els efectes posteriors dels desastres naturals (Audefroy, 2011).

Fins i tot anys després del devastador terratrèmol, encara hi ha poca cura per la vulnerabilitat sísmica i la longevitat dels futurs edificis. Es podria argumentar avui que les pràctiques internacionals poden produir estructures de formigó sostenibles que van en contra de l'ús de mesclades deficientes i treballs de baixa qualitat. Però el que no es té en

compte és la qualitat del formigó després del terratrèmol. La pregunta llavors és què tan sostenible pot ser el formigó després que s'ha deconstruït en un desastre natural. La sostenibilitat del formigó a Haití sembla pràcticament inútil i irresponsable. El simple fet de saber que el formigó, armat o no, no sobreviurà a cap terratrèmol al Carib, hauria de ser la primera pista per esgotar totes les futures propostes de disseny. Tant els actors locals i internacionals de la reconstrucció a Haití haurien de reconsiderar sistemes estructurals sostenibles que continuaran sent funcionals indefinidament després d'un desastre natural.

El principal problema amb els materials industrials internacionals és que s'han d'importar a Haití, i això fa que els dissenyadors redueixin costos en altres parts del disseny del projecte. El formigó armat és un sistema de construcció molt fiable, però només si es construeix correctament. A Haití, la construcció de formigó i maçoneria històricament ha estat de qualitat menor a la estàndard (McWilliams & Griffin, 2013). Per reconstruir amb seguretat el formigó a Haití, hi hauria d'haver una formació generalitzada i un control de qualitat (Bhatty, 2010, citat per McWilliams & Griffin, 2013).

S'ha demostrat que reemplaçar materials locals tradicionals per formigó i blocs de formigó, és econòmicament insostenible i, en definitiva, fa que les estructures siguin més vulnerables (Audefroy, 2011). Com a resultat de la substitució dels materials tradicionals, la gent està reconstruint el millor que pot, sense aplicar cap especificació tècnica antisísmica.

Després d'investigar mètodes alternatius de disseny, els sistemes de construcció sovint van demostrar una millor resistència als terratrèmols que qualsevol altre edifici construït amb materials moderns, específicament relacionats amb la maçoneria. Si es pot començar a allunyar-se d'aquestes pràctiques tradicionals i reconèixer que aquest coneixement necessita evolucionar i innovar, llavors potser finalment es podrà reconstruir Haití.



**Figura 6** A l'esquerra: la falta de manteniment va afeblir les parets, contribuint al seu col·lapse. A la dreta: una casa de fusta amb el tradicional sostre de doble pendent. Font: Audefroy, 2011.

Si els materials locals són el concepte clau per a la sostenibilitat futura, cal ser intel·ligents amb com s'utilitza el material i comprendre realment què és el que fa una estructura sísmica reforçada. Igual que qualsevol material industrial, els materials d'origen local poden respondre de manera sísmica i tenir una llarga vida útil si es construeix correctament.

A Haití, una gran quantitat de runes de formigó i residus de construcció han format grans barreres per a la reconstrucció (DesRoches et al., 2011). Però, segons la ciència i la investigació, la seva utilització com a material de construcció s'ha convertit en una estratègia exitosa i sostenible per a la gestió de residus de formigó, que al capdavall, ha estat provat per tenir la mateixa resistència a la compressió que el formigó utilitzat als Estats Units. Ara per ara, el formigó de qualitat baixa que el fabricant haitià fa, té una resistència a compressió de 8.9 MPa (N/mm<sup>2</sup>), que és menys de la meitat de la resistència mínima per a qualsevol formigó dels EUA (DesRoches et al., 2011). L'objectiu era assolir el requisit mínim de 21 MPa (N/mm<sup>2</sup>) mitjançant l'ús de residus de formigó. Tanmateix, el formigó com a àrid reciclat només pot funcionar eficaçment si la mescla de materials és consistent i fàcil de mesurar. La idea de reciclar residus de formigó és un enfocament positiu per als futurs dissenyadors, ja que pot ajudar a eliminar els residus restants. No obstant això, la reutilització dels escombres com a àrids per a la construcció nova és actualment problemàtica a Haití a causa de la necessitat de mesurar i fer proves precises".

### 3. ACTIVITAT A L'AULA

L'activitat de classe proposada pretén fomentar una discussió sobre diversos aspectes introduïts prèviament. En aquest sentit, es recomana proporcionar als alumnes aquest material amb antelació.

Aquesta activitat es divideix amb dues seccions o blocs, amb una durada total de tres hores. Per a la metodologia, proposem treballar en grups reduïts (de 3 a 4 estudiants); es donen més detalls a cada bloc de l'activitat.

#### **Activitat a l'aula: Bloc I**

A la primera part de l'activitat de classe, programada per una hora i mitja, es proposa aprofundir en diversos índexs que s'utilitzen per mesurar globalment el nivell de desenvolupament humà, igualtat de gènere i pobresa multidimensional. Per això, cal omplir la *Taula 2*. En primer lloc, cal trobar informació relacionada amb els índexs esmentats anteriorment. En segon lloc, cal identificar les dimensions i els indicadors. Finalment,



l'objectiu d'aquest exercici és detallar els impactes directes i indirectes (positius i negatius) relacionats amb la millora dels indicadors identificats.

Emplenar la *Taula 2* hauria de durar entre 30 i 40 minuts, dedicant posteriorment uns 20 minuts a una discussió general. A més d'això, els estudiants hauran de respondre si coincideixen o no amb els índexs existents, i si afegirien algun altre indicador.

**Taula 2** Índexs proposats, com a base del debat sobre possibles impactes directes i indirectes

ÍNDEX	DIMENSIONS	INDICADORS (Unitats)	IMPACTES DIRECTES	IMPACTES INDIRECTES
Índex de desenvolupament humà (IDH)				
Índex d'igualtat de gènere (GII)				
Índex de pobresa multidimensional (MPI)				

### Activitat a l'aula: Bloc II

Tal com es detalla en la contextualització d'aquest cas, i concretament en relació amb la construcció de la infraestructura, moltes pèrdues es van produir per diferents aspectes. Idealment el millor escenari seria la recuperació al mateix temps de tota la infraestructura.

**Taula 3** Infraestructura proposada per classificar segons la prioritat considerada.

INFRASTRUCTURA	PRIORITAT CLASIFICACIÓ
Edificis per a grups amb necessitats especials (nens del carrer, orfes, gent gran, etc.)	
Edificis recreatius per a joves	
Habitatges (llars)	
Infraestructura sanitària	
Edificis institucionals (govern, justícia, etc.)	
Infraestructures de residus sòlids i líquids	
Edificis educatius (escoles, universitats, etc.)	
Infraestructures empresarials (sector primari i secundari)	

Oficines de suport a les dones	
Infraestructures de transport	

Malauradament aquest escenari seria bastant difícil d'aconseguir. En aquest sentit, i d'acord amb la informació proporcionada, la *Taula 3* proposa una llista d'infraestructures potencials per reconstruir. Tenint en compte la situació específica, es demana als estudiants que classifiquin amb quina prioritats reconstruirien les infraestructures de la llista: puntuant de major prioritats (1); a menor (10). Per tal de ser més específics, cal tenir en compte el context urbà, on es concentren més persones.

Cada grup tindrà 30 minuts per definir la classificació de prioritats. Els últims 30 minuts s'utilitzaran pel debat general. Aquesta discussió ha de servir per compartir els rànquings dels grups. En aquest sentit, us recomanem que el professor comparteixi les respostes dels estudiants en una pissarra o element similar. Per tant, el debat s'hauria de centrar en les similituds i les diferències entre perspectives. La idea és donar als estudiants la possibilitat de defensar els motius de les seves decisions.

### 3.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVUACIÓ

#### Activitat a l'aula: Bloc I

Aquesta activitat no té una solució única i específica, ja que és una pregunta de resposta oberta. Per tant, enumerem diversos impactes detalladament per proporcionar una breu guia per fomentar el debat general.

ÍNDIX	DIMENSIONS	INDICADORS (unitats)	IMPACTES DIRECTES	IMPACTES INDIRECTES
IDH	Salut	Esperança de vida (anys)	- La vida, en el seu concepte genèric	- Migració - Urbanització estesa - Augment de dependència global de la vellesa - Implicacions per a les edats de jubilació, serveis de salut, cura de persones grans, protecció social i relacions familiars
	Educació	Anys d'escolaritat esperats (anys)	- Millora del desenvolupament de la primera infància - Millorar les capacitats	- Augment de les oportunitats durant el creixement (auto-realització)

ÍNDEX	DIMENSIONS	INDICADORS (unitats)	IMPACTES DIRECTES	IMPACTES INDIRECTES
IDH	Educació	Mitjana d'anys d'escolaritat (anys)	- Millora del desenvolupament de la primera infància - Millorar les capacitats	- Augment de les oportunitats durant el creixament (auto-realització)
	Nivell de vida	PNB per càpita (US\$)	- Reduir la pobresa - Construcció del poder adquisitiu	- Disminució del consum sostenible (major demanda)
GII	Salut	Natalitat (morts per 100.000 naixements vius)	- Augment de l'esperança de vida - Reducció de la mida de les famílies monoparentals	- Impactes associats a l'esperança de vida
		Natalitat adolescent (naixements per 1.000 dones de 15 a 19 anys)	- Reducció de l'abandonament escolar	- Reducció de la mortalitat dels adolescents - Disminució dels problemes econòmics - Control de la mida de la població (fins a cert punt)
	Empoderament	Representació parlamentària (% de seients)	- Participació en la presa de decisions - Augment de l'equitat	- Evolució de les normes, valors i marcs legals
		Èxit escolar en secundària i superior (%)	- Millorar les capacitats	- Obtenir més opcions
	Mercat laboral	Participació en el mercat laboral (%)	- Ampliar les llibertats de les dones	- Promoure el creixement econòmic - Reducció de la pobresa de les llars
MPI	Educació	Assoliment escolar (6 anys d'escolaritat - Sí/No)	- Augment de les oportunitats durant el creixament - Millorar les capacitats	- Obtenir més opcions - Auto-realització
		Assistència escolar (un nen d'edat escolar no inscrit a l'escola - S/N)	- Millora del desenvolupament de la primera infància - Millorar les capacitats	- Obtenir més opcions
	Salut	Nutrició (desnutrició - S/N)	- Reduir el risc de mort - Millora del desenvolupament de la primera infància (físicament i mentalment)	- Reducció dels costos de salut - Augment de la igualtat global
		Mortalitat infantil (menys de 5 anys - S/N)	- Augment de l'esperança de vida	- Impactes associats a l'esperança de vida
	Condicions de vida	Electricitat (S/N)	- Millorar el desenvolupament humà i el benestar	- Augment de la seguretat - Augmentar la demanda i el risc de consum de recursos no renovables

ÍNDEX	DIMENSIONS	INDICADORS (unitats)	IMPACTES DIRECTES	IMPACTES INDIRECTES
MPI	Condicions de vida	Aigua potable (S/N)	- Disminució del risc de malalties de transmissió com el còlera i la diarrea	- Millorar el desenvolupament humà i el benestar - Reducció dels costos de salut
		Sanejament (S/N)	- Disminució del risc de malalties - Millora de l'entorn comú	- Millorar el desenvolupament humà i el benestar - Millorar la qualitat de l'aigua, així com els ecosistemes de l'aigua - Reducció dels costos de salut
		Combustible per cuinar (S/N)	- Disminució de les malalties relacionades amb el pulmó	- Reducció dels costos de salut - Reducció de recursos no renovables
		Condicions de la llar (S/N)	- Millora del benestar humà	- Millorar les capacitats
		Béns (S/N)	- Millorar la comunicació i la mobilitat	- Millorar l'economia

Tingueu en compte que, a causa de la naturalesa oberta d'aquestes preguntes, les idees que té l'alumnat sobre els nous indicadors que es poden incorporar, no tenen perquè coincidir amb els índexs existents.

### Activitat a l'aula: Bloc II

Semblant a l'última part del Bloc I, no es proporcionen respostes específiques pel Bloc II. Com s'esmenta anteriorment, l'objectiu del Bloc II és encoratjar als estudiants a reflexionar, debatre i compartir les seves diferents opinions i perspectives. Un enfocament per organitzar el debat podria ser centrar-se en les infraestructures de major i menor prioritat (3 o 4 seleccionades), per exemple.

### Criteris d'avaluació

Per tal d'oferir un sistema d'avaluació objectiu i transparent als estudiants, proposem que s'utilitzi la rúbrica (vegeu *l'annex III*). La rúbrica mostra: i) el coneixement que s'espera que els estudiants adquireixin, i ii) els criteris utilitzats per avaluar el contingut de les respostes associades amb les activitats proposades.

La manera d'aplicar aquesta rúbrica s'inicia donant-la als estudiants, per tal d'informar-los de com seran avaluats. Per tant, s'hauria de donar alguna orientació per permetre que se centrin en els objectius específics (en termes de respostes).

Per facilitar l'avaluació, cada grup ha de presentar (o donar en paper) les respostes al professor al final de la classe. Aquestes respostes s'avaluen segons els criteris de la

rúbrica. No obstant això, el professor pot triar un mètode d'avaluació alternatiu si ho considera més apropiat.

#### 4. ACTIVITAT AUTÒNOMA FORA DE L'AULA

Com en l'activitat anterior, aquesta activitat es defineix clarament com a dos blocs. Recomanem que tots dos exercicis es facin en grups reduïts (és a dir, 3 o 4 estudiants), però això es pot deixar a criteri del professor. Estimem que la totalitat de l'activitat requerirà de 10 hores de treball.

##### Activitat autònoma fora de l'aula: Bloc I

Aquesta primera part pretén abordar els aspectes més tècnics del disseny de la mescla de formigó. En primer lloc, s'hauria de determinar una dosificació del formigó convencional amb matèries primeres sense processar. En segon lloc, s'hauria de definir una dosificació del formigó amb àrids reciclats. En aquest cas, els àrids gruixuts naturals, que eren utilitzats per dissenyar la mescla de formigó convencional en el primer pas, seran substituïts per un àrid gruixut reciclat. En ambdós casos, s'ha de tenir en compte el context d'Haití (és a dir, les condicions de classe d'exposició ambiental). A més, s'aplicarà la metodologia de Bolomey per calcular la massa dels materials a emprar en 5,000 litres de formigó. En aquest sentit, hi ha algunes dades inicials que cal tenir en compte.

##### Formigó d'àrids naturals

- Atès que no existeix una Normativa específica a Haití, s'utilitzarà la que s'aplica a Espanya pel càlcul d'estructures de formigó (EHE-08).
- La selecció de la proporció màxima d'aigua/ciment, així com el contingut mínim de ciment, s'ha de fer d'acord amb la *Taula 4*. Cal tenir en compte el tipus de formigó.

**Table 4** Proporció màxima d'aigua/ciment (a/c) i contingut mínim de ciment.

DOSIFICACIÓ	TIPO DE FORMIGÓ	CLASSE D'EXPOSICIÓ												
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Màxima proporció a/c	En Massa	0.65	---	---	---	---	---	---	0.50	0.50	0.45	0.55	0.50	0.50
	Armat	0.65	0.60	0.55	0.50	0.50	0.45	0.50	0.50	0.50	0.45	0.55	0.50	0.50
	Pretesat	0.60	0.60	0.55	0.50	0.45	0.45	0.45	0.50	0.45	0.45	0.55	0.50	0.50

DOSIFICACIÓ	TIPIU DE FORMIGÓ	CLASSE D'EXPOSICIÓ												
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Contingut mínim de ciment (kg/m <sup>3</sup> )	En Massa	200	---	---	---	---	---	---	275	300	325	275	300	275
	Armat	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	Pretesat	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

- La distribució de la qualificació dels àrids especificats a la *Taula 5* s'utilitzarà en aquesta activitat. Aquí, es dona el percentatge dels àrids que passen pel tamís específic.

**Taula 5** Classificació de la distribució de diferents fraccions d'àrids naturals utilitzats per a la producció de formigó convencional (% de pas pels tamisos).

OBERTURA DEL TAMÍS (mm)	GRAVA 1 - 10/20 - (%)	GRAVA 2 - 5/10 - (%)	SORRA - 0/5 - (%)
20	100	100	100
10	2	90	100
5	0	7	100
2.5	0	0	68
1.25	0	0	42
0.63	0	0	27
0.32	0	0	18
0.16	0	0	8
0.075	0	0	7

- Com a guia, es pot aplicar la densitat de 3.1 kg/dm<sup>3</sup> pel ciment. La densitat de 2.6 kg/dm<sup>3</sup> es pot utilitzar en tots els àrids naturals. S'ha de tenir en compte la humitat de la superfície, d'aproximadament un 1%. No es tindrà en compte el percentatge d'aire. El coeficient "a" integrat en l'expressió Bolomey s'ha de triar de la *Taula 6*.

**Taula 6** Valors per a un coeficient de Bolomey.

TIPUS ÀRIDS	CONSISTÈNCIA	VALORS DE a
De gravera	Seca-Plàstica	10
	Tova	11
	Fluida	12
De pedrera	Seca-Plàstica	12
	Tova	13
	Fluida	14

- Una vegada que el formigó s'ha elaborat, s'ha de validar la seva resistència a la compressió segons la *Taula 6*, d'acord amb el tipus de formigó i la classe d'exposició ambiental. La resistència compressiva obtinguda hauria de ser de 8 MPa superior a la descrita a la *Taula 7* per assegurar que el 95% de les mostres d'assaig aconseguixin la resistència a la compressió.

**Taula 7** Resistència mínima recomanada segons les classes d'exposició.

DOSIFICACIÓ	TIPI DE FORMIGÓ	CLASSE D'EXPOSICIÓ												
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
Resistència mínima (N/mm <sup>2</sup> )	En Massa	20	---	---	---	---	---	---	30	30	35	30	30	30
	Armat	25	25	30	30	30	35	30	30	30	35	30	30	30
	Pre-sat	25	25	30	30	35	35	35	30	35	35	30	30	30

### Formigó amb àrids reciclats

Per produir formigó amb àrids reciclats (FAR), els àrids gruixuts (Grava 1 i Grava 2) seran substituïts per àrids reciclats gruixuts (AR).

Les propietats dels àrids reciclats han de tenir en compte:

- La distribució de classificació d'AR hauria de ser similar a la dels àrids naturals;
- Els AR tenen una major capacitat d'absorció d'aigua que la dels àrids naturals. Els AR amb majors capacitats d'absorció d'aigua tenen una qualitat inferior. Segons la norma EHE per a formigons estructurals, la capacitat d'absorció d'aigua dels AR

hauria de ser inferior al 7%. Pel formigó simple i formigó de baixa-mitjana resistència, la proporció de substitució dels àrids naturals pot ser elevada, aconseguint el 100% (depenent de l'aplicació). No obstant això, s'han de produir formigons reciclats armats exposats a un ambient agressiu utilitzant AR amb una capacitat d'absorció d'aigua inferior al 5%, i amb la substitució màxima (en volum) del 50%;

- La producció de RAC es farà amb un reemplaçament del 50% d'AR;
- L'AR1, que s'utilitzarà com a substitut de la Grava 1, té una densitat de 2.2 kg/dm<sup>3</sup> i una capacitat d'absorció d'aigua del 4.8%;
- L'AR2 té una densitat de 2.12 kg/dm<sup>3</sup> i una capacitat d'absorció del 5.4%;
- L'AR1 i AR2 s'utilitzaran amb valors d'humitat del 3.8% i 4.3%, respectivament;
- La capacitat d'absorció d'aigua de la Grava 1, la Grava 2 i la sorra és de 0.4%, 0.6% i 1%, respectivament;
- La mateixa proporció efectiva d'aigua/ciment s'utilitzarà tant en el formigó convencional com en el reciclat. Per determinar la proporció efectiva d'aigua/ciment, es considerarà la capacitat efectiva d'absorció de tots els àrids (capacitat d'absorció del material submergint-lo en aigua durant 30 minuts). La capacitat efectiva d'absorció de la Grava 1, Grava 2 i la sorra és del 20%, 20% i 70% respectivament, de la seva capacitat d'absorció d'aigua. La capacitat d'absorció efectiva d'ambdós ARs (AR1 i AR2) és del 80% de la seva capacitat d'absorció.

Com a últim pas, cal discutir les principals diferències dels resultats en relació amb l'ús d'àrids reciclats i naturals.

### **Activitat autònoma fora de l'aula: Bloc II**

En aquest segon bloc, els estudiants es traslladaran al context d'Haití. Concretament, se'ls demanarà que dissenyin unes pautes de formació i control de qualitat. En aquest sentit, cal tenir en compte dos aspectes clau:

- L'enfocament d'utilitzar àrids reciclats en lloc d'àrids naturals;
- La transferència de coneixement.



## 4.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVUACIÓ

**Activitat autònoma fora de l'aula: Bloc I**

En primer lloc, es presenta un resum de les dades inicials. Tingueu en compte que el primer càlcul és per a 1 m<sup>3</sup> de formigó.

PARÀMETRES	DADES	UNITATS
Mínima resistència	30	N/mm <sup>2</sup>
Exposició	IIIa	---
Tipus de formigó	Pretesat	---
Proporció màxima a/c	0.5	Sense unitats
Contingut mínim de ciment	300	kg/m <sup>3</sup>
Consistència	Fluida	---
Tipus d'àrid	De pedrera	---
Coefficient a	14	Sense unitats
$\rho_{\text{ciment}}$	3.1	kg/dm <sup>3</sup>
$P_{\text{àrids}}$	2.6	kg/dm <sup>3</sup>
Humitat <sub>sorra</sub>	1	%

A continuació, el volum d'aigua es calcula tenint en compte el contingut mínim de ciment i la proporció d'aigua i ciment:

$$V_{\text{aigua}} = 300 \times 0.5 = 150 \text{ kg (o litres)}$$

Aquests 150 litres d'aigua representen l'aigua màxima (aigua total) que es permet utilitzar en aquesta producció de formigó.

El volum de ciment requerit és:

$$V_{\text{ciment}} = \frac{300 \text{ kg}}{3.1 \text{ kg/dm}^3} = 96.77 \text{ dm}^3 = 96.77 \text{ l}$$

Segons la metodologia Bolomey pel formigó fresc, així com els procediments "per tempteig", el volum de ciment i àrids es pot considerar com un conjunt. Per tant, és possible escriure:

$$1,025 = V_{H_2O} + V_{\text{ciment}+\text{àrids}}$$

Tenint en compte el volum d'aigua, obtenim:

$$V_{\text{ciment}+\text{àrids}} = 1,025 - 150 = 875 \text{ l}$$

Ara és possible calcular el percentatge de ciment amb el volum anterior. Aquest valor serà anomenat com  $t_0$ :

$$t_0 = \frac{96.77}{875} = 0.1105 \text{ (or 11.05\%)}$$

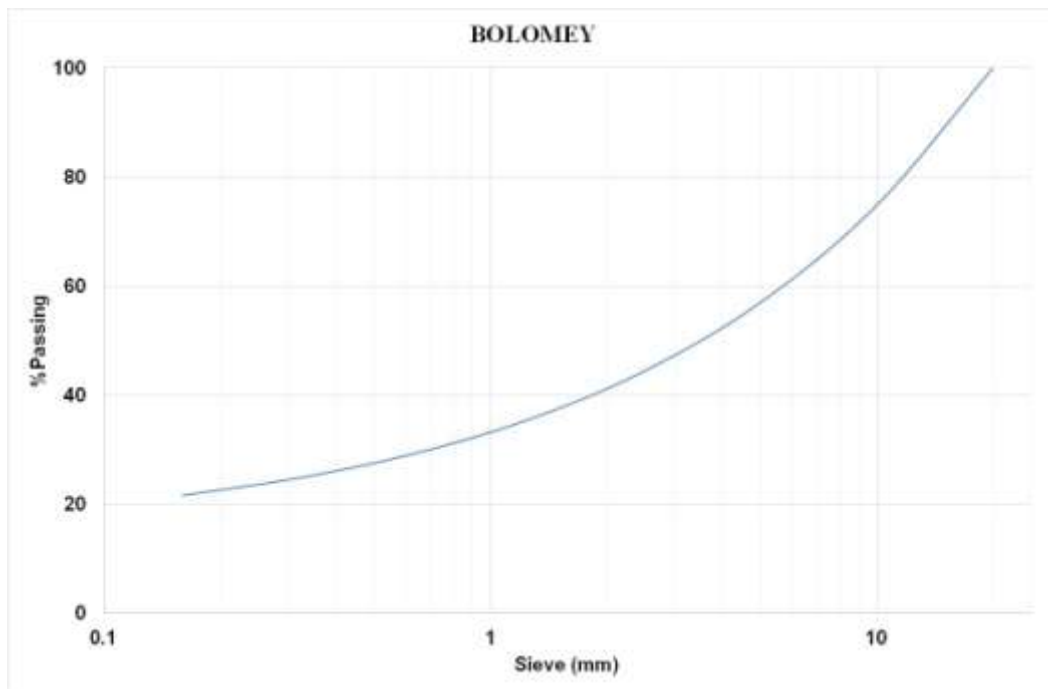
La metodologia de Bolomey estableix que la dosificació dels àrids està determinada per una corba de referència, que representa una distribució de graduació contínua i una màxima compactació entre els àrids, aconseguint la densitat màxima. Aquesta corba estàndard està representada per la següent equació:

$$y = a + (100 - a) \times \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Quan s'utilitza el procediment "per tempteig", el terme de l'equació  $d/D_{\text{max}}$  es defineix com  $d/20$  (nota  $D_{\text{max}} = 20$  és el tamís més petit que permet passar més del 90% de la fracció). D'aquesta manera, tots els tamisos es tenen en compte ( $d$ ). Com a conseqüència, s'obtenen els següents resultats:

Obertura del tamís	Grava 1 ( $t_3$ )	Grava 2 ( $t_2$ )	Sorra ( $t_1$ )	Ciment ( $t_0$ )	Bolomey
20	100	100	100	11.05	100.00
10	2	90	100	11.05	74.81
5	0	7	100	11.05	57.00
2.5	0	0	68	11.05	44.41
1.25	0	0	42	11.05	35.50
0.63	0	0	27	11.05	29.26
0.32	0	0	18	11.05	24.88
0.16	0	0	8	11.05	21.69

Així, la corba teòrica de Bolomey es pot representar de la següent manera:



Per obtenir la corba real, es consideren aquells  $d/D$  per als quals passa el 90% o més dels àrids. Així, es pot formular un sistema de tres equacions:

- Tamís (sieve) 20:  $t_0 + t_1 + t_2 + t_3 = 100$
- Tamís (sieve) 10:  $t_0 + t_1 + t_2 = 74.81$
- Tamís (sieve) 5:  $t_0 + t_1 = 57$

A partir d'aquestes equacions, s'obtenen els valors següents (en percentatge):

- $t_1 = 45.95 \% = 0.4595$
- $t_2 = 17.81 \% = 0.1781$
- $t_3 = 25.19 \% = 0.2519$

Amb aquests valors, es pot visualitzar la corba real operant de la següent forma:

$$\text{Tamís 20} = 100t_3 + 100t_2 + 100t_1 + 100t_0$$

$$\text{Tamís 10} = 100t_2 + 100t_1 + 100t_0$$

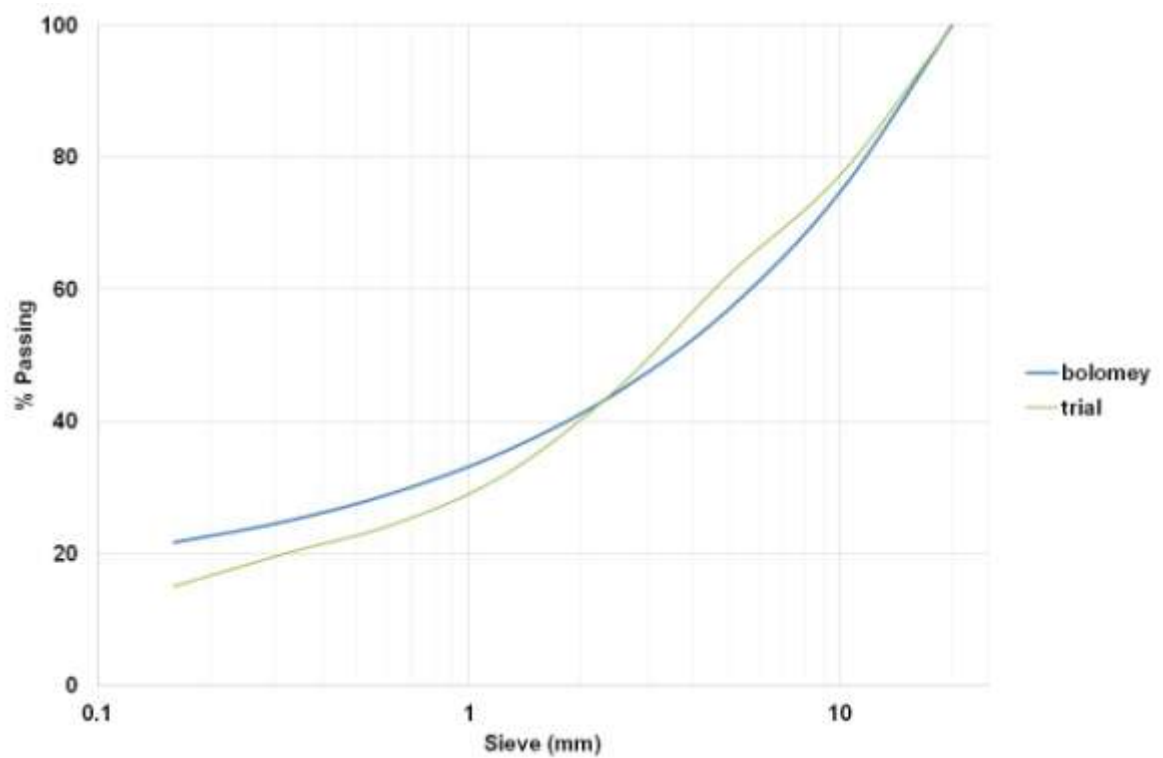
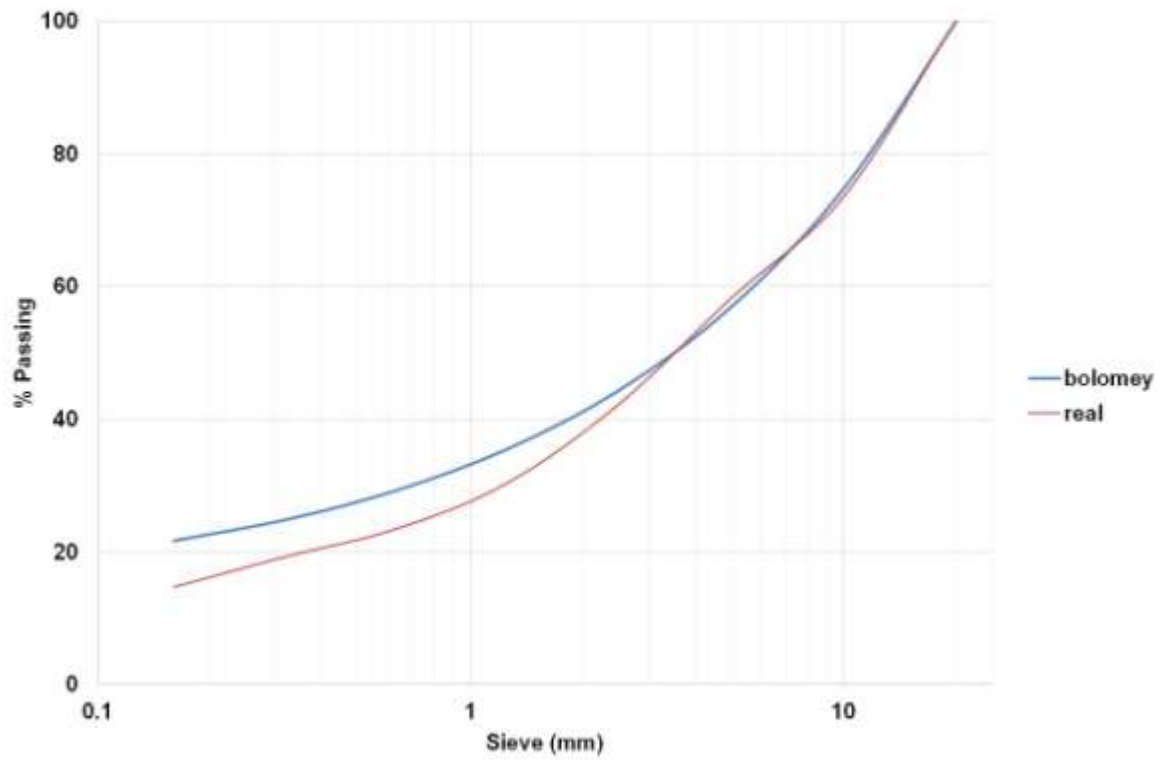
$$\text{Tamís 5} = 100t_1 + 100t_0$$

...

$$\text{Tamís 0.16} = 100t_1 + 100t_0$$

Obertura del tamís	Grava 1 ( $t_3$ )	Grava 2 ( $t_2$ )	Sorra ( $t_1$ )	Ciment ( $t_0$ )	Bolomey	Real
20	100	100	100	11.05	100	100
10	2	90	100	11.05	74.81	73.03
5	0	7	100	11.05	57	57
2.5	0	0	68	11.05	44.41	42.30
1.25	0	0	42	11.05	35.50	30.35
0.63	0	0	27	11.05	29.26	23.46
0.32	0	0	18	11.05	24.88	19.32
0.16	0	0	8	11.05	21.69	14.73

A partir del gràfic següent, es pot veure que les corbes són diferents. Les àrees on la corba real està per sota la teòrica significa que menys àrids passen pels tamisos, mentre que les àrees que estan per sobre de la corba teòrica signifiquen el contrari. En aquest sentit, el que s'ha de buscar és una àrea similar a aquesta corba teòrica. Això significaria una compactació adequada de la mescla. A partir del gràfic, és possible veure que els àrids associats als tamisos  $\leq 5$  estan sota la corba teòrica. En aplicar el procediment "per tempteig", es fan diferents intents per assolir l'objectiu esmentat anteriorment. En fer-ho, com a exemple, es pot augmentar el percentatge de sorra, tot reduint la grava 1. En el gràfic següent es va augmentar el percentatge de sorra, i el percentatge de grava 1 va disminuir un 4%; la grava 2 es va mantenir constant. D'aquesta manera, el resultat obtingut amb la prova realitzada sembla ser apropiada.



A continuació, els percentatges dels diferents àrids i el ciment es detallen de la manera següent:

- $t_0 = 11.05\%$

- $t_1 = 49.95\%$
- $t_2 = 17.81\%$
- $t_3 = 21.19\%$

Com a resultat, els diferents volums i masses són:

$$t_1 = V_{\text{sorra}} = 875 \text{ l} \times 0.4995 = 437.1 \text{ l}$$

$$m_{\text{sorra}} = 437.1 \text{ l} \times 2.6 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 1,136.5 \text{ kg}$$

$$t_2 = V_{\text{grava 2}} = 875 \text{ l} \times 0.1781 = 155.8 \text{ l}$$

$$m_{\text{grava 2}} = 155.8 \text{ l} \times 2.6 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 405.1 \text{ kg}$$

$$t_3 = V_{\text{grava 1}} = 875 \text{ l} \times 0.2119 = 185.4 \text{ l}$$

$$m_{\text{grava 1}} = 185.4 \text{ l} \times 2.6 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 482.0 \text{ kg}$$

No obstant això, també s'ha de tenir en compte que la sorra conté un 1% d'humitat. Els càlculs anteriors estaven relacionats amb àrids secs, així doncs, es pot obtenir la quantitat real de sorra de la següent manera:

$$m_{\text{sorra}} = 1,136.5 \text{ kg} \times \frac{100}{99} = 1,147.9 \text{ kg}$$

La diferència de pes entre els àrids humits i secs és d'11.5 kg, que equival a l'aigua. Com es va definir prèviament, la quantitat d'aigua màxima que es permet utilitzar en aquest formigó és de 150 litres; en conseqüència, l'aigua a afegir a la màquina de mesclar serà de 150-11.5 = 138.5 litres.

Finalment, la taula següent presenta tant la dosificació per elaborar 1 m<sup>3</sup> i 5,000 litres, que era l'objectiu de l'exercici.

Material	Dosificació per a 1 m <sup>3</sup>	Dosificació per a 5 m <sup>3</sup>
Ciment	300 kg	1500 kg
Aigua	138.5 kg	692.5 kg

Grava 1	482 kg	2,410 kg
Grava 2	405.1 kg	2,025.5 kg
Sorra	1,147.9 kg	5,739.5 kg

Aquesta és la dosificació final del formigó convencional, utilitzant únicament àrids naturals.

### Disseny de formigó amb àrids reciclats

La dosificació del formigó amb àrids reciclats (FAR) s'ha de dissenyar substituint (en volum) el 50% dels àrids naturals per agregats reciclats, tal com s'ha descrit anteriorment.

L'aigua total emprada en el FAR es determinarà tenint en compte que l'aigua total emprada en el formigó convencional és de 150 litres i que ambdós formigons tenen la mateixa relació eficient d'aigua/ciment.

A la taula següent es mostra la dosificació del formigó convencional:

Material	Dosificació per a 1 m <sup>3</sup>
Ciment	300 kg
Aigua	138.5 kg
Grava 1	482 kg
Grava 2	405.1 kg
Sorra	1,147.9 kg

En substituir el 50% d'àrids gruixuts naturals (en volum) per àrids reciclats, s'obtenen els valors detallats a continuació:

#### Grava 1

Volum =  $482 / 2.6 = 185.4$  litres, 50% del volum: 92.7 litres

$m_{\text{grava1}} = 92.7 \times 2.6 = 241.02$  kg

$m_{\text{AR1}} = 92.7 \times 2.2 = 203.94$  kg (massa seca)

$m_{\text{AR1-humit}} = 203.94 \times (100 / 96.2) = 211.99$  kg

#### Grava 2

Volum =  $405.1 / 2.6 = 155.8$  litres, 50% del volum: 77.9 litres

$m_{\text{grava2}} = 77.9 \times 2.6 = 202.54$  kg

$$m_{AR2} = 77.9 \times 2.12 = 165.15 \text{ kg}$$

$$m_{AR2-humit} = 165.15 \times (100 / 95.7) = 172.57 \text{ kg}$$

### Sorra

$$M_{sorra} = 1,147.9 \text{ kg}$$

### Ciment

$$m_{ciment} = 300 \text{ kg}$$

### Aigua

Es va utilitzar una quantitat total d'aigua de 150 kg per a la producció convencional de formigó. La sorra té una humitat de l'1% (11.5 kg d'aigua) i, per tant, s'afegeixen 138.5 kg d'aigua a la producció de formigó. A causa de la capacitat efectiva d'absorció dels àrids naturals, l'aigua alliberada (que reacciona amb el ciment i descriu la relació efectiva d'aigua/ciment) es calcula com l'aigua afegida menys la capacitat d'absorció efectiva dels àrids.

La capacitat efectiva d'absorció de la Grava 1 i Grava 2 és del 20% de la seva capacitat d'absorció. La capacitat d'absorció d'aigua de la Grava 1 i Grava 2 és del 0.4% i del 0.6%, respectivament. D'aquesta manera, la capacitat efectiva d'absorció de la Grava 1 i Grava 2 és del 0.08% i del 0.12%. Per a la sorra, la capacitat d'absorció efectiva és del 70% de la seva capacitat d'absorció. En conseqüència, la capacitat efectiva d'absorció de la sorra és del 0.7%. Tanmateix, la sorra ja té un 1% d'humitat, de manera que la capacitat d'absorció es pot considerar 0 (p. ex., la seva capacitat d'absorció de l'1% està coberta).

L'aigua barrejada per a la producció de formigó era de 138.5 kg ( $m_{aigua}$ ). A causa de l'efecte de l'aigua absorbida, l'aigua alliberada és:

$$M_{alliberada \text{ aigua}} = 138.5 - (482 \cdot 0.08 / 100) - (405.1 \cdot 0.12 / 100) = 137.63 \text{ kg (aigua alliberada en formigó convencional i formigó amb àrids reciclats)}$$

D'aquesta manera, 137.63 kg d'aigua és el valor constant a mantenir tant en formigons convencionals com en reciclats.

A continuació, l'aigua que es requereix per a afegir a la producció de formigó amb àrids reciclats serà l'aigua alliberada (137.63 kg) més l'aigua absorbida de forma efectiva per als àrids.

AR1 té una humitat del 3.8% i una capacitat d'absorció del 4.8%. Així doncs, la capacitat d'absorció real en temps de producció és de l'1%. La capacitat d'absorció efectiva és del



80% de la seva capacitat d'absorció. D'aquesta manera, la capacitat efectiva d'absorció és del 0.8%.

Seguint el mateix procediment, AR2 té una humitat del 4.3% i una capacitat d'absorció del 5.4%. La capacitat efectiva d'absorció és llavors, d'un  $1.1\% \times 80\%$ , que és igual al 0,88%.

L'aigua total requerida per ser afegida és:

$$m_{\text{aigua total}} = 137.63 + (241.02 \times 0.08/100) + (202.54 \times 0.12/100) + (211.99 \times 0.8/100) + (172.57 \times 0.88/100) = 141.28 \text{ litres}$$

Finalment, la dosificació de la producció del FAR per a 1 i 5 m<sup>3</sup> és:

Material	Dosificació per a 1 m <sup>3</sup>	Dosificació per a 5 m <sup>3</sup>
Ciment	300 kg	1,500 kg
Aigua	141.28 kg	706.4 kg
Grava 1	241.02 kg	1,205.1 kg
AR1	211.99 kg	1,059.95 kg
Grava 2	202.54 kg	1,012.7 kg
AR2	172.57 kg	862.85 kg
Sorra	1,147.9 kg	5,739.5

La comparació dels dos tipus de formigó: convencional i reciclat, revela que la diferència d'aigua requerida és baixa (14 kg per a 5 m<sup>3</sup>).

Material	Mescla Convencional per a 5 m <sup>3</sup>	Mescla amb arids reciclats per a 5 m <sup>3</sup>
Ciment	1,500 kg	1,500 kg
Aigua	692.5 kg	706.4 kg
Grava 1	2,410 kg	1,205.1 kg
AR1	---	1,059.95 kg
Grava 2	2,025.5 kg	1,012.7 kg
AR2	---	862.85 kg
Sorra	5,739.5 kg	5,739.5 kg

No obstant això, aquests resultats es refereixen al cas d'AR amb contingut d'aigua (humitat). Encara que l'AR humit es recomana per a l'elaboració de formigó, és interessant determinar la quantitat total d'aigua emprada per a la producció de FAR. En aquest sentit, la quantitat total d'aigua en el FAR seria la que resultés de l'aigua afegida més l'aigua present en forma d'humitat a la sorra, AR1 i AR2.

$$M_{\text{requerida}} = 141.28 + (1,147.9 - 1,136.5) + (211.99 - 203.94) + (172.57 - 165.15) = 168.15 \text{ litres}$$

Mentre que el FAR requereix una quantitat total d'aigua de 168.15 litres, el formigó convencional requereix 150 litres quan s'utilitzen àrids secs. Això es deu a la gran capacitat d'absorció d'aigua dels AR.

D'altra banda, i degut a l'absorció esmentada anteriorment, és rellevant esmentar que la resistència a la compressió del FAR serà inferior a la del formigó convencional. En conseqüència, es recomana que s'utilitzi una proporció màxima d'aigua/ciment inferior (4-10%) i una major proporció de ciment (5-10%). D'aquesta manera, s'aconseguirà la mateixa resistència a compressió, així com propietats de durabilitat (a 28 dies). Aquesta possible solució s'ha de verificar mitjançant la comprovació del volum de correspondència entre els materials emprats.

### **Activitat autònoma fora de l'aula: Bloc II**

Pel que fa a l'activitat de classe, aquesta activitat no té una solució única. Aquesta part de l'activitat és una resposta oberta, i es demana als estudiants que pensin en la solució que consideren més adequada. Tot i proporcionar més detalls és una tasca per als estudiants. Es presenten diversos aspectes que es podrien tenir en compte:

#### *L'enfocament d'utilitzar àrids reciclats en lloc d'àrids naturals*

L'ús d'àrids reciclats sembla un enfocament adequat tenint en compte la quantitat existent a Haití. No obstant això, un aspecte important a tenir en compte és la qualitat d'aquests àrids. Si la qualitat no és apropiada, tampoc ho serà el FAR resultant. En aquest sentit, s'haurien d'evitar àrids que contenen sulfats o clorurs (àrids del mar). Si bé el contingut de clorurs s'ha de tenir en compte quan es produeix el formigó armat, és menys important en el formigó simple (per exemple, blocs de formigó). Per això, un control de qualitat és notablement necessari.

Pel que fa a aquest control de qualitat, cal fomentar la participació dels sectors públic i privat. L'objectiu és garantir que el merchandising d'aquests materials compleixi les

característiques requerides. La documentació, certificats de qualitat i informació detallada, entre d'altres, són mecanismes per proporcionar un mercat transparent.

El control de qualitat també té a veure amb controlar la característica de l'aigua utilitzada. Aquest aspecte és rellevant tant per a l'elaboració del formigó convencional com amb AR. Aquest últim requereix majors quantitats d'aigua, que és un factor a tenir en compte, en quant a la seva disponibilitat en qualsevol àrea geogràfica donada. L'escassetat d'aigua pot ser un aspecte a tenir en compte a l'hora de decidir quin formigó elaborar.

Un altre element a avaluar és el cost associat al transport de material. No hi ha dubte que utilitzar AR pot reduir costos. D'altra banda, s'hauria de fomentar l'ús de materials locals o, si no fos possible, de països veïns (República Dominicana, Cuba, Jamaica, etc.). En qualsevol cas, els proveïdors exigeixen controls de qualitat. A més, l'ús d'un mercat local té menys impactes mediambientals negatius.

### La transferència del coneixement

Un dels aspectes més importants a tenir en compte és comprendre les pràctiques actuals dels professionals i no professionals del país. La transferència del coneixement no es tracta d'imposar idees sinó d'entendre el context, compartir punts de vista i convergir en solucions de consens.

Com es descriu en la contextualització d'aquest cas d'estudi, s'han trobat sistemes de construcció tradicionals que sovint demostren una millor resiliència als terratrèmols que qualsevol altre edifici construït amb materials moderns, i específicament els relacionats amb la maçoneria. Per tant, identificar possibles pràctiques inadequades pot ser un punt de partida. La incorporació de pràctiques tradicionals i el reconeixement que aquest coneixement ha d'evolucionar i innovar, definitivament podria construir un diàleg i un camí integral.

Una primera característica d'aquest camí podria ser l'establiment d'una normativa de construcció, ja que actualment hi ha una manca de codi d'edificació al país. Tenint en compte que una part important de la població parla francès i anglès, l'ús de normatives dels països que parlen aquestes llengües proporcionaria una guia sòlida. Tanmateix, també s'hauria de fer l'esforç per traduir-lo a la llengua oficial.

La transferència de coneixements s'hauria d'aplicar facilitant espais on es capacitin professionals i no professionals. Un altre aspecte important és encoratjar a les dones a participar. La col·laboració amb actors i institucions locals, sectors públics i privats, centres d'educació superior, ONG, etc. seria un valor afegit. La formació s'ha de fer des de la perspectiva d'educar futurs educadors. Un enfocament podria ser l'elaboració de diferents

programes de formació centrats en les diferents fases que implica la construcció: disseny, execució, manteniment i control.

Un dels aspectes que s'haurien de transmetre de la manera més senzilla i pedagògica possible és com dur a terme una mescla adequada de materials a l'hora d'elaborar formigons convencionals i amb AR. La disponibilitat de materials de treball s'ha de tenir en compte en dissenyar l'estratègia per a utilitzar aquests procediments. El càlcul de la capacitat d'absorció dels àrids, o les estructures de reforç a través de diferents solucions, haurien de ser aspectes que també s'hi presti especial atenció. En qualsevol cas, el factor temporal s'ha de tenir en compte al dissenyar i implementar qualsevol solució. L'objectiu general és evitar una catàstrofe similar al terratrèmol del 2010.

### **criteris d'avaluació**

Per avaluar aquesta activitat, es sol·licitarà un informe de cada grup, en el qual s'haurà de resoldre tota l'activitat.

Per a l'avaluació específica de l'informe, es recomana utilitzar la rúbrica presentada prèviament (vegeu l'annex III), i específicament, els aspectes tècnics identificats dins de la rúbrica. No obstant això, i depenent de les respostes dels estudiants, cal tenir en compte aspectes diferents dels inclosos en la rúbrica. D'aquesta manera, la rúbrica representa un possible instrument per facilitar l'avaluació de les activitats proposades en el seu conjunt. Com s'esmenta anteriorment, el professor és lliure d'escollir un mètode alternatiu.

## BIBLIOGRAFIA

Audefroy, J. F. 2011. "Haiti: Post-earthquake Lessons Learned from Traditional Construction". *Environment & Urbanization* 23, 447-462. doi: 10.1177/0956247811418736.

Churches, Ch. E., Wampler, P. E., Sun W. and Smith, A. J. 2014. "Evaluation of Forest Cover Estimates for Haiti Using Supervised Classification of Landsat Data". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 30, 203–216. doi: 10.1016/j.jag.2014.01.020.

DesRoches, R. R., Kurtis, K. E., and Gresham, J. J. 2011. "Breaking the reconstruction logjam". *American Ceramics Society Bulletin* 90, 20–26.

Fierro, E., and Perry, C. 2010. "Preliminary Reconnaissance Report–12 January 2010 Haiti Earthquake". Berkeley, CA.

Food and Agriculture Organization of United Nations, FAO. 2000. "Forest Resource Assessment 2000: Main Report (FRA 2000)". Rome.

Food and Agriculture Organization of United Nations, FAO. 2005. "Global Forest Resources Assessment 2005: Progress towards Sustainable Forest Management". Rome.

Government of the Republic of Haiti. 2010. "Haiti Earthquake PDNA: Assessment of Damage, Losses, General and Sectoral Needs". Port-au-Prince.

International Monetary Fund. 2017. World Economic Outlook Database. Available from: < <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2017/02/weodata/weoselgr.aspx> > [28 July 2017]

Joint Monitoring Programme. 2015. "Progress on Sanitation and Drinking Water: 2015 Update and MDG Assessment". New York and Geneva.

FAFO. 2009. "Haiti Youth Survey 2009. Volume II: Analytical Report". Oslo.

McWilliams, H., and Griffin, C. T. 2013. "A Critical Assessment of Concrete and Masonry Structures for Reconstruction after Seismic Events in Developing Countries". In book: *Structures and Architecture*, pp.857-864. doi: 10.1201/b15267-121.

The World Bank. 2017. Contextualization of Haiti after 1020 earthquake. Available from: <<http://www.worldbank.org/en/country/haiti/overview>> [21 July 2017].

United Nations. Sustainable Development Goals: 17 Goals to Transform Our World. Available from: <<http://www.un.org/sustainabledevelopment>> [1 November 2017].

United Nations Development Programme. 2016. "Human Development Report 2016: Human Development for Everyone". New York.

United Nations Development Programme. 2013. "Millennium Development Goals 2013: Haiti a New Look". New York.

United Nations Human Settlements Programme. 2016. "Urbanization and Development: Emerging Futures. World Cities Report 2016". Nairobi.



**GDEE**

GLOBAL  
DIMENSION IN  
ENGINEERING  
EDUCATION

<http://www.gdee.eu>



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

**UAB**

Universitat Autònoma  
de Barcelona

Aquest projecte està finançat per:



**Ajuntament  
de Barcelona**



CASOS D'ESTUDI

# Ampliant Horitzons per al Disseny d'una Llosa de Formigó Pre-Estressat: Cas d'Estudi a Barcelona

David Requejo Castro i Eva Oller



FOTO: Ronda de Dalt, Barcelona. ©ESTEYCO.



GDEE | GLOBAL  
DIMENSION IN  
ENGINEERING  
EDUCATION



# CASOS D'ESTUDI **Ampliant Horitzons per al Disseny d'una Llosa de Formigó Pre-Estressat: Cas d'Estudi a Barcelona**

## EDITAT PER

Engineering Sciences and Global Development Research Group,  
Universitat Politècnica de Catalunya

## COORDINAT PER

David Requejo-Castro, Ricard Giné-Garriga  
i Agustí Pérez-Foguet (*Universitat Politècnica de Catalunya*)

DL B 5492-2018

ISBN: 978-84-697-9614-6

Aquesta obra està publicada sota  
una llicència Creative Commons  
Reconeixement - No comercial  
- CompartirIgual



Citació: Requejo-Castro, D., i Oller, E. 2018. "Ampliant Horitzons per al Disseny d'una Llosa de Formigó Pre-Estressat: Cas d'Estudi a Barcelona".  
A Casos d'Estudi per Integrar i Promoure Problemàtiques Globals a l'Aula d'Enginyeria Civil. EScGD (eds.). Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona.  
Disponible a: <http://www.eduglobalstem.cat/recursos/>

Descàrrec de responsabilitat: Aquest document ha estat produït amb el suport financer de l'Ajuntament de Barcelona. El contingut d'aquest document és responsabilitat exclusiva dels autors i sota cap circumstància pot considerar-se que reflecteix la posició de l'Ajuntament de Barcelona.

# 3

## AMPLIANT HORITZONS PER AL DISSENY D'UNA LLOSA DE FORMIGÓ PRETENSAT: CAS D'ESTUDI A BARCELONA

**David Requejo Castro**, Universitat Politècnica de Catalunya.

**Eva Oller**, Universitat Politècnica de Catalunya.

## ÍNDEX

<b>1. INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>3</b>
1.1. DISCIPLINES COBERTES .....	4
1.2. RESULTATS D'APRENTATGE.....	4
1.3. ACTIVITATS .....	4
<b>2. DESCRIPCIÓ DEL CONTEXT.....</b>	<b>5</b>
2.1. CONTEXT INTERNACIONAL ABORDANT ELS ASSENTAMENTS HUMANS.....	5
2.2. URBANITZACIÓ: VISIÓ GLOBAL .....	8
2.3. CIUTATS SOSTENIBLES I DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE EN L'ENGINYERIA CIVIL .....	9
2.4. ÍNDEXS I INDICADORS COM A EINES PER RECOLZAR LA PRESA DE DECISIONS .....	13
2.5. CAS D'ESTUDI DE BARCELONA.....	16
<b>3. ACTIVITAT A L'AULA.....</b>	<b>18</b>
3.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVUACIÓ.....	20
<b>4. ACTIVITAT AUTÒNOMA FORA DE L'AULA.....</b>	<b>22</b>
4.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVUACIÓ.....	26
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>46</b>
<b>ANNEXOS.....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUCCIÓ

Fa només un segle, el 20% de la població mundial residia en zones urbanes. Als països d'ingressos baixos, aquesta proporció només era del 5%. Avui, aproximadament la meitat de la població mundial viu a les ciutats (3,500 milions de persones).

A la Conferència de les Nacions Unides sobre Assentaments Humans l'any 1976 (Vancouver, Canadà), es va cridar a la comunitat internacional a comprometre's amb les polítiques d'assentaments humans per pal·liar les pitjors condicions d'"urbanització descontrolada" en un marc de justícia social. Dues dècades després, dins de la definició dels Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni (ODM), els líders mundials van donar forma a una àmplia visió per lluitar contra la pobresa en les seves múltiples dimensions durant els propers 15 anys. Entre aquests objectius, i pel que fa als temes d'urbanització, es va incloure un objectiu específic per assolir, a l'any 2020, una millora significativa en la vida d'almenys 100 milions d'habitants dels barris marginals. El resultat durant el període dels ODM va ser una reducció de la proporció de població urbana que viu als barris marginals de les regions de baixos ingressos d'aproximadament del 39.4% al 29.7%. No obstant això, els darrers anys han sorgit reptes clau actuals i nous reptes urbans. El 2015, els països van adoptar l'Agenda 2030 per al Desenvolupament Sostenible i els seus 17 Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS). En aquest context, es va definir un espectre més ambiciós: "fer que les ciutats siguin inclusives, segures, resilents i sostenibles" (Objectiu 11).

Sens dubte, els enginyers, així com altres professionals, tenen un paper clau a l'hora d'aconseguir ciutats més sostenibles, i simplement aplicar solucions tècniques és poc realista. En aquest sentit, es necessita un canvi cap a una perspectiva més àmplia i es demana als professionals que ampliïn el seu paper per garantir que es compleixin les necessitats reals de tots els usuaris finals existents, així com reconèixer els impactes tant en el medi natural com en les futures generacions.

En aquest cas, l'alumnat està convidat a aplicar les seves habilitats tècniques i, alhora, se l'anima a discutir diferents aspectes que integrin una perspectiva més àmplia en la presa de decisions. Per fer-ho, es proporciona una introducció al context internacional que s'ocupa dels assentaments humans i del concepte de desenvolupament sostenible. A més d'això, es proporcionarà un coneixement bàsic sobre la construcció d'índexs per donar suport a la presa de decisions. Finalment, s'introduirà un problema i un context específic per establir el punt de partida pel desenvolupament de les activitats proposades.

## 1.1. DISCIPLINES COBERTES

La principal disciplina coberta en aquest cas d'estudi fa referència a les estructures de formigó pretensat. No obstant això, diversos conceptes, inclosos la metodologia docent, poden ser la base per a disciplines relacionades amb estructures de formigó armat o amb estructures d'acer.

Paral·lelament, es promou el treball en equip, ja que les activitats proposades es duran a terme en grups reduïts, que en última instància haurien d'estimular les discussions de grup enriquidores i un debat general a l'aula.

## 1.2. RESULTATS D'APRENTATGE

S'espera que, com a resultat d'aquest cas d'estudi, l'alumnat podrà:

- Comprendre la situació actual dels assentaments humans i la importància dels enfocaments sostenibles;
- Tractar la definició d'una solució per a un projecte real, tractant d'entendre el problema plantejat des de la seva concepció;
- Aprendre a pensar com a enginyer/a, resolent problemes amb múltiples solucions i tractar de triar l'òptima;
- Ampliar les seves perspectives a l'hora d'abordar qualsevol projecte, integrant en la seva decisió diversos aspectes, no només els tècnics;
- Definir la solució estructural (geometria, reforç intern actiu i passiu) mitjançant l'acompliment de les condicions donades pels codis de formigó existents (en aquest cas, la Instrucció del Formigó Estructural EHE-08 i l'Eurocodi-2).

## 1.3. ACTIVITATS

En aquest cas d'estudi, es demana a l'alumnat dues activitats. La primera serà una reflexió sobre la complexitat del desenvolupament humà des de la perspectiva de l'enginyeria civil. Això ha de fomentar no només un debat enriquidor, sinó també una discussió que superi els aspectes tècnics i econòmics que solen ser els considerats durant el disseny d'un projecte.

I la segona activitat, que està dissenyada per resoldre's durant un semestre acadèmic, pretén treballar en la solució tècnica associada al problema presentat. A més, s'espera que les solucions proposades siguin justificades i vinculades al codi deontològic dels enginyers.

## 2. DESCRIPCIÓ DEL CONTEXT

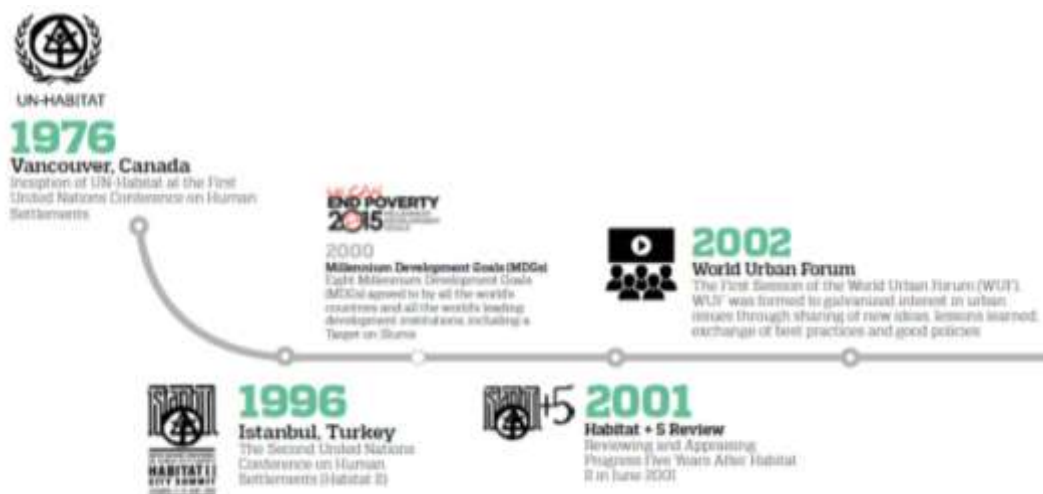
En aquesta secció es presenta una introducció del context internacional que aborda els assentaments humans i una visió global de la urbanització, per així, proporcionar a l'alumnat una perspectiva general d'aquest tema global. A més, s'introdueix una breu descripció d'un exemple relacionat amb el que s'entén com una ciutat sostenible, així com un marc conceptual per als enginyers civils per tal d'integrar el concepte de desenvolupament sostenible en les seves activitats. A continuació, es donen alguns coneixements bàsics sobre indicadors compostos, per donar suport a la presa de decisions. Finalment, es presenta el cas d'estudi per contextualitzar les activitats relacionades.

### 2.1. CONTEXT INTERNACIONAL ABORDANT ELS ASSENTAMENTS HUMANS

El Programa de les Nacions Unides per als Assentaments Humans (ONU-Hàbitat) va començar el 1976 amb la Conferència de les Nacions Unides sobre Assentaments Humans a Vancouver, Canadà, en un moment en què els governs van començar a percebre seriosament les ciutats sota les seves jurisdiccions com a "futurs emergents" pel seu propi dret (United Nations Human Settlements Programme, 2016). Hi va haver dos resultats principals d'aquest esdeveniment pioner. El primer va ser la Declaració de Vancouver, que va instar tant als països individuals com a la comunitat internacional, a comprometre's amb les polítiques dels assentaments humans que combinen la planificació territorial amb elements de pensament econòmic, social i científic, per pal·liar les pitjors condicions d'"urbanització descontrolada" dins un marc de justícia social. El segon resultat, anunciat en un document de l'Assemblea General de les Nacions Unides el desembre de 1977, va ser l'establiment del Centre de les Nacions Unides per als Assentaments Humans com a punt focal per coordinar activitats dins de l'ONU (United Nations General Assembly, 1977).

Dues dècades més tard, el juny de 1996, a Istanbul, la Segona Conferència de les Nacions Unides sobre Assentaments Humans (Hàbitat II) va contribuir en augmentar la consciència global sobre qüestions d'assentaments urbans i humans. Com a punt d'inflexió notable, era la primera vegada que en una conferència de l'ONU, es convidava a ONGs i organitzacions de la societat civil, a parlar i participar en recomanacions de redacció (United Nations Human Settlements Programme, 2016). Els principals temes tractats van ser el reconeixement de les ciutats com a avantguarda en estratègies de desenvolupament, tot i que la incidència a la pobresa i les condicions d'habitatges deficients augmentaven. A més

d'això, les agrupacions ciutadanes, les organitzacions comunitàries i les ONG es van identificar com a actors importants als quals cal prestar més atenció. Finalment, es va ressaltar el paper clau de la governança, afirmant que els governs futurs serien més facilitadors que proveïdors.



**Figura 1** Esdeveniments internacionals rellevants de 1976 a 2002 associats amb assentaments humans. Font: United Nations Human Settlements Programme, 2016.

A principis del nou mil·lenni, els líders mundials es van reunir a les Nacions Unides per donar forma a una visió àmplia per lluitar contra la pobresa en les seves múltiples dimensions. Aquesta visió, que es va traduir en vuit Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni<sup>1</sup> (ODM), que va continuar sent el marc de desenvolupament global del món durant els propers 15 anys (United Nations, 2015). En aquest context, i en relació amb els temes d'urbanització, es va incloure un objectiu específic (7.D) que tenia com a objectiu assolir, per al 2020, una millora significativa en la vida d'almenys 100 milions d'habitants dels barris marginals. El resultat durant el període dels ODM va ser una reducció de la proporció de la població urbana que viu als barris marginals de les regions de baixos ingressos, d'aproximadament del 39,4% a l'any 2000, al 29,7% l'any 2014 (United Nations, 2015). En altres paraules, entre 2000 i 2014, més de 320 milions de persones van obtenir accés a aigua millorada, a un sanejament millorat, a un habitatge durador o amb unes condicions de menys acumulament habitacional, el que significa que l'objectiu dels ODM va ser superat en gran mesura. Encara que es va complir aquest objectiu, el nombre absolut de residents urbans que viuen en barris marginals continua creixent, en part a causa de l'acceleració de la urbanització, el creixement de la població i la manca de polítiques adequades del territori i l'habitatge. Es va estimar que més de 880 milions de residents urbans viuen en barris marginals l'any 2015, en comparació amb els 792 milions de persones registrades el 2000 i 689 milions l'any 1990.

<sup>1</sup> Podeu trobar més informació relacionada amb els ODM a <http://www.un.org/millenniumgoals>.



**Figura 2** Esdeveniments internacionals referents als assentaments humans des de 2002 fins a la data. Font: United Nations Human Settlements Programme, 2016.

El 2015, els països van adoptar l'Agenda 2030 per al Desenvolupament Sostenible i els seus 17 Objectius de Desenvolupament Sostenible<sup>2</sup> (ODS). Aquests ODS pretenen anar més enllà per acabar amb totes les formes de pobresa. Aquests nous Objectius globals són únics en el sentit que s'insta a tots els països (ja siguin rics, pobres o d'ingressos mitjans) a adoptar mesures per a promoure la prosperitat alhora que protegeixen el planeta. Els ODS reconeixen que les iniciatives per acabar amb la pobresa han d'anar de la mà d'estratègies que afavoreixin el creixement econòmic i abordin una sèrie de necessitats socials, entre les quals cal assenyalar l'educació, la salut, la protecció social i les oportunitats d'ocupació, a alhora que lluiten contra el canvi climàtic i promouen la protecció del medi ambient (United Nations). Concretament, l'Objectiu 11 es proposa "aconseguir que les ciutats siguin inclusives, segures, resilents i sostenibles", i per fer-ho, es centra en 10 Metes<sup>3</sup>.

El 2016, la Conferència de les Nacions Unides sobre Habitatge i Desenvolupament Urbà Sostenible va tenir lloc a Quito, Equador. Va ser la primera cimera mundial de l'ONU sobre urbanització des de l'aprovació de l'Agenda 2030 del Desenvolupament Sostenible l'any anterior. Allà, els líders mundials van adoptar la Nova Agenda Urbana que estableix estàndards mundials en l'assoliment del desenvolupament urbà sostenible, repensant la manera com es construeixen, gestionen i viuen les ciutats, combinant la cooperació amb aliats compromesos, actors rellevants i actors urbans en tots els nivells de govern així com en la societat civil i el sector privat (United Nations). Sobretot, aquesta agenda urbana hauria de prescriure condicions que facilitin un canvi cap a patrons d'urbanització més sostenibles, que busquin assolir un desenvolupament inclusiu, centrat en les persones i el desenvolupament global sostenible. Per tant, les polítiques que sorgeixen han de ser implementables, universals, sensibles i rellevants per al context local. Han de ser participatives i col·laboratives. Han de ser inclusives i reconèixer els drets de les minories i els grups vulnerables. Per sobre de tot, les polítiques han de ser sostenibles (United Nations Human Settlements Programme, 2016).

<sup>2</sup> Es pot consultar informació detallada sobre els ODS a <http://www.un.org/sustainabledevelopment>

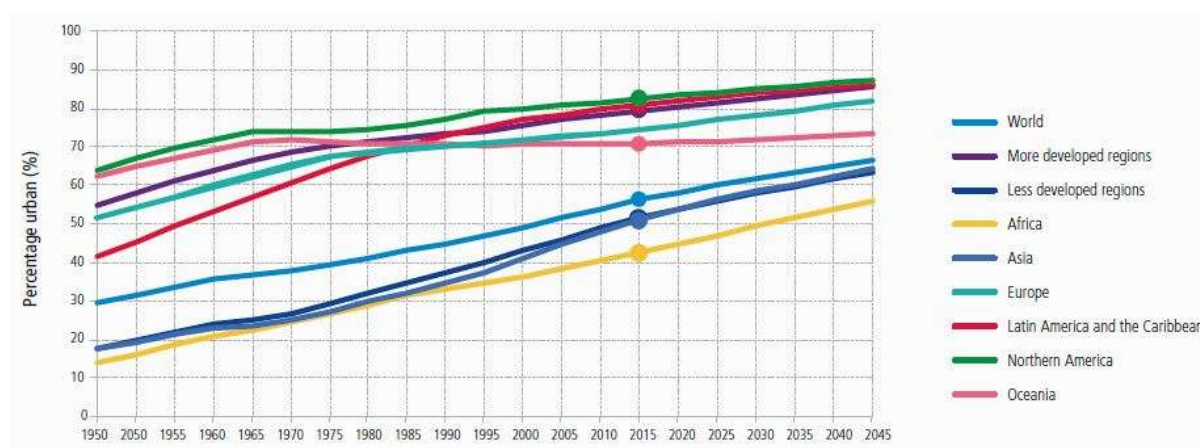
<sup>3</sup> Podeu trobar una descripció de les 10 Metes a <http://www.un.org/sustainabledevelopment/cities>



## 2.2. URBANITZACIÓ: VISIÓ GLOBAL

És destacable que fa només un segle, el 20% de la població mundial residia a les zones urbanes. Als països d'ingressos baixos, aquesta proporció només era del 5%. El món ha estat ràpidament urbanitzat, i el 2008, per primera vegada en la història, la població urbana va superar en nombre a la població rural. Aquesta fita va marcar l'aparició d'un nou 'mil·lenni urbà'. El 2050, s'espera que dos terços de la població mundial visqui a les zones urbanes (United Nations Human Settlements Programme, 2015).

Avui, aproximadament la meitat de la humanitat viu a les ciutats (3.500 milions de persones). Com a resultat directe d'aquesta situació, les ciutats del món ocupen només el 3% de les terres de la Terra, però representen entre el 60% i el 80% del consum d'energia i el 75% de les emissions de carboni. Per tant, la ràpida urbanització està exercint pressió sobre el subministrament d'aigua dolça, les aigües residuals, el medi ambient i la salut pública. No obstant això, l'alta densitat de les ciutats pot aportar guanys d'eficiència i innovació tecnològica a la vegada que redueix el consum de recursos i energia (United Nations). La planificació urbana requereix d'un canvi de visió de la urbanització principalment vista com un problema, per a considerar-la com una poderosa eina de desenvolupament (United Nations Human Settlements Programme, 2015).



**Figura 3** Tendències globals en la urbanització des de 1950 fins a 2050 (% urbà). Font: United Nations Human Settlements Programme, 2015.

Sens dubte, les ciutats són un centre d'idees, comerç, cultura, ciència, productivitat, desenvolupament social i molt més. En el millor dels casos, les ciutats han permès a les persones avançar socialment i econòmicament. No obstant això, les claus existents i els nous reptes urbans han sorgit al llarg dels anys. Diversos exemples es presenten a l'Informe d'Activitats Mundials de l'Hàbitat, en anglès, Habitat Global Activities Report (2015).

Com a primer exemple, l'informe UN-Hàbitat destaca que els fenòmens meteorològics (és a dir, tempestes, pujades del nivell del mar, inundacions continentals, sequeres, etc.) associats

al canvi climàtic han produït grans pèrdues, especialment entre els habitants de les zones marginals i poblacions més pobres (principalment a les zones costaneres). Com a resultat, la mitjana de persones mortes com a conseqüència d'aquests fenòmens va passar de 53,678 a 106,597, i el dany econòmic anunciat es va elevar a partir d'una mitjana anual de 55 milions de dòlars a 156,000 milions, en els períodes compresos entre 1994-2003 i 2003 - 2012. Per tant, és fonamental reconèixer que les ciutats també han de formar part de la solució al problema del canvi climàtic.

Un segon repte s'associa amb les desigualtats a l'accés a oportunitats, ingressos, consum, ubicació, informació i tecnologia, que ara són la norma més que l'excepció. L'informe assenyala que les desigualtats de gènere persisteixen en molts països i contextos (taxes més baixes d'educació secundària, menys accés a un treball digne, menor representació política, etc.). A més d'això, les desigualtats juvenils es manifesten en la discriminació a l'accés a l'educació, en els nivells diferenciats d'ocupació i d'oportunitats de subsistència, en la manca de participació en la presa de decisions i en els prejudicis contra les preferències sexuals. Finalment, l'informe conclou que les desigualtats d'ingressos combinades amb altres formes de desigualtats socials reforcen la privació que afronten molts grups i persones en funció del gènere, edat, origen ètnic, procedència, la discapacitat i altres factors. Així, les desigualtats generen una geografia urbana de desavantatge concentrat.

Un últim exemple detallat a l'informe UN-Hàbitat és l'aparició de noves formes de pobresa, risc i marginació urbana en els països rics. Un nombre creixent de residents urbans en països d'ingressos alts experimenten o estan en risc de pobresa i/o exclusió social. A la Unió Europea, el 24% de la població es troba en aquesta categoria, amb una de cada deu persones que viuen amb greus desavantatges materials i un 17% que viu amb menys del 60% dels ingressos mitjans del país. A moltes altres ciutats, la persistència de la pobresa intergeneracional i el desavantatge econòmic estan intrínsecament lligats a la ubicació geogràfica i al lloc. Tanmateix, a més d'aquestes formes de pobresa "convencionals", s'estan creant noves formes d'exclusió social i marginació, entre elles "manca o deficiència d'infraestructura", pobresa dels immigrants, joves en situació de risc i gent gran vulnerable, entre d'altres.

### 2.3. CIUTATS SOSTENIBLES I DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE EN L'ENGINYERIA CIVIL

Tal i com es defineix a l'informe desenvolupat per BCNecologia (2010) sobre la ciutat de Vitoria-Gazteiz (Espanya), la ciutat és un ecosistema, i els contactes, la regulació, l'intercanvi i la comunicació són l'essència del seu funcionament. A més d'això, es considera que l'estructura i la forma d'elaborar una ciutat constitueixen el marc per al desenvolupament de la interacció entre els ciutadans a través de les seves activitats.

L'informe de BCNecologia també assenyala que la ciutat com a sistema requereix cada vegada més, la renovació de les seves estructures funcionals, amb l'objectiu de construir una ciutat més sostenible i, alhora, un model de coneixement. Així, l'objectiu és augmentar el grau d'organització del territori, així com el seu potencial per a l'intercanvi d'informació i disminuir el consum de recursos locals, és a dir, aconseguir la màxima eficiència del sistema urbà.

En aquest context, l'informe de BCNecologia presenta un conjunt d'indicadors amb l'objectiu d'avaluar quantitativament i qualitativament el procés d'urbanització de la ciutat estudiada, des d'un punt de vista integral i sistèmic amb criteris de sostenibilitat. Aquesta metodologia basada en indicadors, s'ocupa de les grans àrees implicades en la consecució d'un model de ciutat sostenible des d'una visió ecosistèmica: ocupació del sòl, espai públic i habitabilitat, mobilitat i serveis, complexitat urbana, metabolisme urbà, espais verds i biodiversitat urbana i la cohesió social.

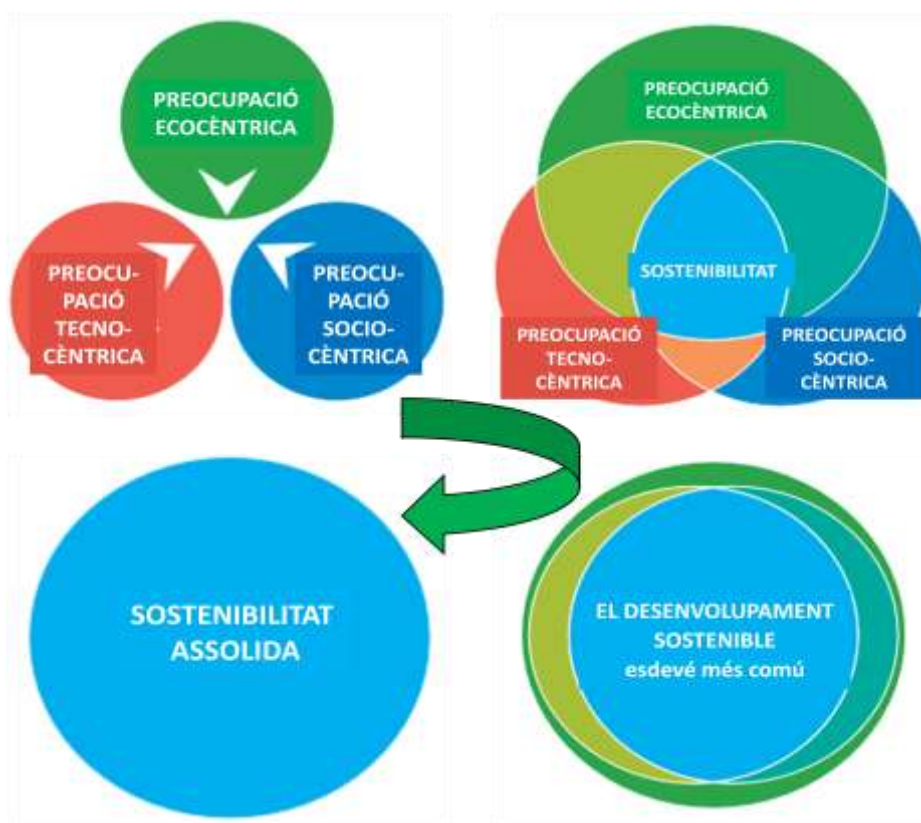
A01	<b>A01 OCUPACIÓ DEL SÒL</b> Objectiu: Consum eficient del sòl
A02	<b>A02 ESPAI PÚBLIC I HABITABILITAT</b> Objectiu: Espai públic de qualitat
A03	<b>A03 MOBILITAT I SERVEIS</b> Objectiu: Mobilitat sostenible
A04	<b>A04 COMPLEXITAT URBANA</b> Objectiu: Diversitat d'usos i funcions
A05	<b>A05 METABOLISME URBÀ</b> Objectiu: Màxima autosuficiència dels fluxos metabòlics
A06	<b>A06 ESPAIS VERDS I BIODIVERSITAT URBANA</b> Objectiu: Augment de la biodiversitat urbana
A07	<b>A07 COHESIÓ SOCIAL</b> Objectiu: Augment de la cohesió social
A08	<b>A08 FUNCIÓ GUIA DE LA SOSTENIBILITAT</b> Objectiu: Eficiència del sistema urbà

**Figura 4** Proposta de marc conceptual per avaluar els processos d'urbanització des d'una perspectiva sostenible. Font: Barcelona Urban Ecology Agency, 2010.

El desenvolupament sostenible es podria convertir en un concepte orientador per als enginyers del segle XXI. En el context de l'enginyeria civil, significa que la construcció d'infraestructures i la prestació de serveis associats s'haurien de distribuir per satisfer una àmplia diversitat d'interessos i responsabilitats (Fenner, et al., 2006). Els enginyers han de seguir complint les obligacions dels clients, garantir la viabilitat del negoci i esforçar-se per l'excel·lència i la robustesa en l'aplicació dels principis d'enginyeria. A més, mitjançant l'adopció d'una perspectiva de desenvolupament sostenible, han d'ampliar el seu paper per garantir que es compleixin les necessitats reals de tots els usuaris finals presents, així com

reconèixer els impactes (i l'oportunitat per a la mitigació i benefici) tant al medi natural com a les generacions futures (Fenner, et al., 2006).

El terme "desenvolupament sostenible" està intrínsecament carregat de valor i està obert a una àmplia interpretació, amb molt de debat sobre la seva definició. Hi ha un veritable debat sobre si la complexitat dels problemes actuals és tan gran que només es confia en solucions tècniques, que per si soles no són realistes. No obstant això, els enginyers en el seu rol professional encara es basen en l'aplicació de solucions tècniques als problemes, com la provisió d'energia i l'adaptació al canvi climàtic. Per arribar a aquestes solucions, la pràctica de l'enginyeria (civil) ha d'aprendre a gestionar una varietat de reptes no tècnics poc freqüents i desconeguts. La dificultat consisteix a trobar maneres d'afrontar aquests reptes a través d'operacions d'enginyeria pràctiques i quotidianes. Idealment, el concepte de desenvolupament sostenible es pot utilitzar simplement per ajudar a definir un límit de problemes més ampli que els límits tradicionalment adoptats pels enginyers. Això condueix a la creació d'un espai de disseny més ampli on es poden formular solucions concebudes de forma més holística per a qualsevol problema donat.



**Figura 5** Avançant cap al desenvolupament sostenible. Font: The Royal Academy of Engineering, 2005.

Com s'explica de forma acurada a Fenner et al. (2006):

"Aquest repte es pot ressaltar tenint en compte les tres grans etapes que passa un projecte d'enginyeria civil: i) definir el problema, ii) triar una solució, i iii) implementar-lo a través del disseny, la construcció i l'operació. La definició del problema requereix el reconeixement que la majoria de serveis d'enginyeria, necessaris per a la societat, s'enmarquen en la realitat social, econòmica i ambiental. A l'altre extrem del procés, el disseny, la construcció i l'operació requereixen l'ús de la mecànica clàssica determinística i l'ús de tècniques analítiques reduccionistes, que han demostrat ser molt apropiades durant els últims tres segles per proporcionar un entorn segur, amb solucions de treball, i que aquestes es basin completament en els mesuraments. I entre aquestes dos etapes, hi ha triar una solució, que requereix fer la transició entre aquestes dues ciències diferenciades. Per aconseguir-ho, s'han de considerar i avaluar més opcions i desenvolupar més criteris d'elecció, que els que sovint s'adopten utilitzant l'enfocament tradicional. A més, diversos d'aquests criteris no són fàcilment quantificables. Els enginyers es veuran obligats a reconèixer que és necessari aplicar valors, així com també criteris matemàtics, als intercanvis i compromisos implicats en les decisions. Aquests també han de ser transparents i facilitar la rendició de comptes a un ampli ventall de parts interessades.

El desenvolupament sostenible es discuteix sovint en termes d'equilibrar les limitacions dels tres pilars referents als factors econòmics, socials i ambientals (vegeu la *Figura 5*). Per a molts, això segueix sent ambigu. En resposta, i com a exemples, el Govern del Regne Unit va ampliar aquests tres pilars a un conjunt de cinc principis clau: i) viure dins dels límits mediambientals, ii) garantir una societat sòlida, sana i justa, iii) assolir una economia sostenible, iv) promoure el bon govern, i v) utilitzar la ciència fonamentada amb responsabilitat. D'altra banda, la Reial Acadèmia d'Enginyeria<sup>4</sup> (RAE) ha publicat recentment un conjunt de dotze principis rectors. Els principis de la RAE ofereixen assessorament d'alt nivell, com ara: "Practica el que prediques", "Planifica i gestiona eficaçment" i "Fes les coses bé, havent decidit el correcte". Un últim exemple, presentat per Fenner et al. (2006), proporciona una visualització d'un mapa de coneixement desenvolupat per Jabareen (2004). Aquest últim autor va proporcionar una representació integral del pensament del desenvolupament sostenible, englobat en vuit àmbits: ètica, justícia, forma urbana, preservació del capital natural, gestió integradora, discurs global, ambició utòpica i gestió financera<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> Més informació a <http://www.raeng.org.uk/publications/other/engineering-for-sustainable-development>

<sup>5</sup> Es pot trobar una explicació detallada de cada domini a Fenner, R. A., Ainger, C. M., Cruickshank, H. J., i Guthrie, P. M. 2006. "Widening Engineering Horizons: Addressing the Complexity of Sustainable Development". In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability* 159, pp. 145-154.



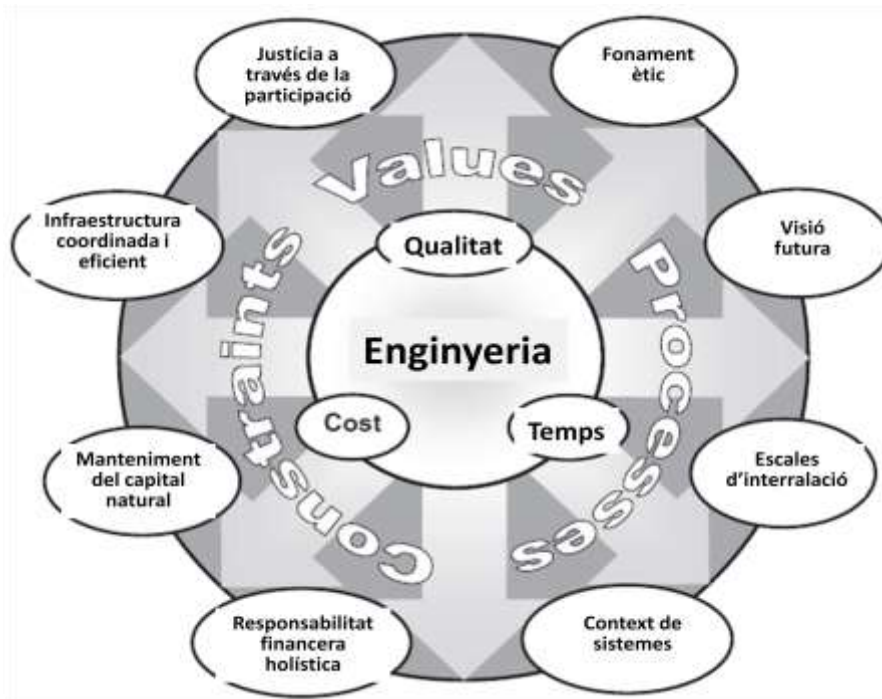


Figura 6 Marc sostenible per als enginyers civils. Font: Fenner et al., 2006.

## 2.4. ÍNDEXS I INDICADORS COM A EINES PER RECOLZAR LA PRESA DE DECISIONS

En termes generals, un indicador és una mesura quantitativa o qualitativa derivada d'una sèrie de fets observats que poden revelar posicions relatives (per exemple, d'un país) en una àrea determinada. Quan s'avalua a intervals regulars, un indicador pot assenyalar la direcció del canvi a través de diferents unitats i al llarg del temps. En el context de l'anàlisi de polítiques, els indicadors són útils per identificar tendències i cridar l'atenció sobre qüestions particulars. També poden ser útils per establir prioritats de política, així com per fer comparatives o supervisar el rendiment. D'altra banda, un indicador compost es forma quan es compilen indicadors individuals en un sol índex sobre la base d'un model subjacent. L'indicador compost hauria de mesurar idealment els conceptes multidimensionals que no poden ser capturats per un únic indicador, per exemple, competitivitat, industrialització, sostenibilitat, integració del mercat únic, societat basada en el coneixement, etc. (Nardo et al., 2005).

En termes de mètode i tècnica, la construcció d'índexs es basa en un procediment pas a pas proposat inicialment per Nardo et al. (2005), que posteriorment es va aplicar a diferents marcs conceptuals<sup>6</sup> (per exemple, el sector de l'aigua i el sanejament). En aquest cas d'estudi, el focus es dirigirà a alguns passos concrets, però cal destacar que, idealment, cal considerar tot el procediment per a la construcció d'índexs compostos. Aquest procediment

<sup>6</sup> Exemples detallats per a la construcció d'indicadors compostos es mostren a Flores-Baquero et al. (2016) i Giné-Garriga & Pérez-Foguet (2010; 2013).

complet es detalla a Nardo et al. (2005); i a continuació es detallarà breument la informació explicativa sobre cada pas.

**Pas 1. Selecció de dades.** Els indicadors haurien de ser seleccionats sobre la base de la seva solvència analítica, mesurabilitat, cobertura del país, rellevància per al fenomen que es mesura i relació entre ells. Idealment, i com a pas previ, s'hauria de desenvolupar un marc teòric que proporcioni la base per a la selecció i la combinació d'indicadors individuals en un indicador compost significatiu sota un principi adequat a la finalitat.

**Pas 2. Normalització.** Els indicadors s'han de normalitzar per fer-los comparables. S'ha de prestar atenció als valors extrems, que poden influir en els passos posteriors al procés de construcció d'un indicador compost. Les dades esbiaixades també s'han d'identificar i comptabilitzar.

Es requereix la normalització abans de qualsevol agregació de dades, ja que els indicadors d'un conjunt de dades solen tenir unitats de mesura diferents. Com a exemple de normalització, presentem l'anomenat procés de "re-escalat" o "min-max", en què els indicadors es normalitzen per tenir un rang idèntic [0, 1] restant el valor mínim i dividint-se pel rang dels valors dels indicadors. En aquest sentit, s'ha de prestar atenció als valors extrems o "valors atípics", ja que podrien distorsionar l'indicador transformat. D'altra banda, la normalització "min-max" podria ampliar el rang d'indicadors que es trobaven dins d'un petit interval, augmentant l'efecte en l'indicador compost. Matemàticament, es representa mitjançant les següents expressions:

$$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_q^t)}{\max_c(x_q^t) - \min_c(x_q^t)} \quad (\text{eq. 1})$$

on  $I_{qc}^t$  és el valor de l'indicador normalitzat,  $x_{qc}^t$  el valor de l'indicador de mostra per a un temps  $t$  d'anàlisi,  $\max_c(x_q^t)$  el valor màxim de l'indicador de mostra per a un temps  $t$  d'anàlisi, i  $\min_c(x_q^t)$  el valor mínim de l'indicador de mostra per a un temps  $t$  d'anàlisi.

La fórmula anterior tracta d'un tipus d'indicador "més és millor". Tanmateix, com que el contrari també pot ser cert, l'indicador seria d'un tipus "menys és millor" (per exemple, menys concentració d'immigrants en una àrea determinada és millor en termes de societat integrada). En aquest sentit, la primera expressió hauria de prendre la següent forma:

$$I_{qc}^t = 1 - \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_q^t)}{\max_c(x_q^t) - \min_c(x_q^t)} \quad (\text{eq. 2})$$

**Pas 3. Pesos i agregació.** Els indicadors s'han d'agregar i ponderar d'acord amb el marc teòric subjacent. A més, cal tenir en compte les qüestions de correlació i compensabilitat entre els indicadors i corregir-les o tractar-les com a característiques del fenomen que es conservarà en l'anàlisi.

Per a les metodologies de ponderació o de pes, hi ha diversos processos numèrics i participatius, amb l'objectiu d'avaluar la importància relativa entre els indicadors i els indicadors compostos disponibles. En aquest sentit, hi ha la possibilitat de proporcionar pesos iguals a les variables considerades o d'utilitzar algun dels mètodes existents per definir els diferents pesos. Pel que fa a l'ús, els pesos iguals es consideren més transparents quan es tracta d'indicadors compostos, i faciliten la interpretació dels resultats. D'altra banda, els pesos diferents poden ser més ajustats a la realitat, però els resultats són més difícils d'interpretar amb precisió.

Es presenten dues alternatives per als mètodes d'agregació, encara que hi ha més possibilitats disponibles. Són l'agregació additiva (càlcul de la mitjana aritmètica) i l'agregació geomètrica (càlcul de la mitjana geomètrica).

El mètode d'agregació additiva té l'avantatge de compensar el valor final d'un indicador compost. Tanmateix, aquesta compensació comporta la pèrdua de poder comunicar clarament la informació. És a dir, un indicador compost pot tenir un valor desitjable com a resultat de dos indicadors. Aquest valor podria ser el resultat d'un valor molt alt d'un dels indicadors i un valor indesitjable de l'altre. En utilitzar aquest mètode d'agregació, aquesta informació no es pot transmetre de manera adequada, i es poden produir errors comparatius entre els contextos avaluats. L'expressió matemàtica d'aquest mètode es pot representar de la següent manera:

$$IC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i \cdot X_i \quad (\text{eq. 3})$$

on IC és el valor de l'indicador compost i  $w_i$  el pes assignat als  $n$  indicadors considerats  $X_i$ .

El mètode d'agregació geomètrica, d'altra banda, implica penalitzar la dispersió de les variables que s'agreguen. En aquest sentit, i per aconseguir valors alts de l'indicador compost, cal tenir valors alts en tots els indicadors considerats. Per contra, un dels inconvenients és que si un dels indicadors és zero, la mitjana geomètrica també serà zero. Matemàticament, aquest mètode s'expressa de la següent manera:

$$IC = \prod_{i=1}^n X_i^{w_i} \quad (\text{eq. 4})$$



Com s'ha esmentat anteriorment, un dels avantatges de l'agregació additiva és que permet la compensació entre diferents indicadors, en particular, la compensació d'un valor nul en alguna de les variables a agregar. A més d'això, és conceptualment més senzill, tant en el nivell d'implementació com en la interpretació dels resultats obtinguts. Tanmateix, aquest mètode oculta l'existència de valors molt baixos (compensació), que no es recomana en alguns casos.

En aquest context, quan es tracta de la construcció d'indicadors compostos, s'han de tenir en compte els diferents aspectes descrits anteriorment. No es pot assenyalar una metodologia millor, ja que depèn de l'ús potencial de l'indicador compost, del públic a qui es transmetran els resultats, etc. En aquest sentit, es recomana, sempre que sigui possible, aplicar un exercici de comparació per avaluar els impactes de l'opció seleccionada.

## 2.5. CAS D'ESTUDI DE BARCELONA

Barcelona és la capital i la ciutat més gran de Catalunya i el segon municipi més poblat de l'Estat espanyol, amb una població d'1.6 milions dins dels límits de la ciutat. La seva àrea urbana s'estén més enllà dels límits administratius de la ciutat, amb una població de prop de 4.7 milions de persones, la qual cosa la converteix en la sisena zona urbana més poblada de la Unió Europea. És la metròpoli més gran del mar Mediterrani, situada a la costa entre les desembocadures dels rius Llobregat i Besòs, i que limita a l'oest per la serra de Collserola, on el punt més alt és de 512 metres d'alçada. Barcelona es divideix en 10 districtes. Aquests són administrats per un regidor designat per l'Ajuntament, i cadascun d'ells té algunes competències relacionades amb temes com l'urbanisme o la infraestructura de la seva àrea. La divisió actual de la ciutat en diferents districtes va ser aprovada el 1984. El 2009 es va implementar una nova divisió de 73 barris (els 10 districtes encara estan en ús), una divisió que es va fer perquè l'Ajuntament pogués oferir un millor servei.

El desenvolupament urbà a Barcelona en els últims anys, el seu compromís amb el disseny i la innovació, i la vinculació de l'urbanisme amb valors ecològics i de sostenibilitat han convertit Barcelona en una de les ciutats europees més importants de l'àrea urbana. Aquest fet ha estat reconegut amb nombrosos premis i distincions, com ara el Premi Príncep de Gal·les a l'Urbanisme de la Universitat de Harvard el 1990 i el Royal Institute of British Architects Gold Medal el 1999. El treball realitzat i els premis rebuts han permès parlar d'un "Model de Barcelona" en l'urbanisme, que ha servit de guia per a moltes ciutats que han emprès camins similars.



**Figura 7** Divisió dels diferents districtes de la ciutat de Barcelona. Font: Elaboració pròpia, de [w33.bcn.cat](http://w33.bcn.cat).

No obstant això, Barcelona segueix lluitant amb aspectes relacionats amb la sostenibilitat i amb l'entrada a una societat d'informació i coneixement. El compacte i divers model de ciutat és aquell que es posiciona millor en aquest procés cap a la sostenibilitat en l'era de la informació. Aquest model permet augmentar la complexitat de les seves parts internes, les quals són la base d'una vida social cohesionada i una plataforma econòmica competitiva. Al mateix temps, l'objectiu és estalviar territori, energia i recursos materials, i contribuir a la preservació dels sistemes agrícola i natural.



**Figura 8** Les principals artèries de mobilitat a Barcelona, on la Ronda de Dalt es troba a la part superior. Font: <http://www.ub.edu/biometa/lugarcelebracion.html>.

Avui en dia s'estan realitzant diversos projectes a Barcelona per aconseguir una ciutat més sostenible i cohesiva. Concretament, aquest cas d'estudi presenta el projecte de la Ronda de Dalt, que és una artèria de mobilitat que travessa diversos districtes de la ciutat (vegeu la *Figura 8*). Els diferents barris d'aquests districtes es veuen afectats pel soroll i el nivell de contaminació generat per la Ronda de Dalt. El Plenari del Consell Municipal va acordar que era necessari millorar aquesta situació i ajudar a humanitzar l'entorn urbà de la Ronda de Dalt. El canvi de la percepció que tenen els districtes muntanyencs, així com la millora de les condicions ambientals i acústiques, i la connexió dels districtes de Gràcia, Horta-Guinardó i Nou Barris amb la resta de la ciutat, són objectius primordials. La idea principal és cobrir algunes seccions de la Ronda de Dalt, amb l'objectiu de recuperar i crear nous espais per augmentar les zones verdes i les instal·lacions públiques, així com per potenciar les activitats cíviques, veïnals i comercials i mobilitzar recursos i inversions en la zona.

### 3. ACTIVITAT A L'AULA

L'activitat proposada pretén fomentar una discussió més enllà d'aquells aspectes tècnics i econòmics que solen considerar-se durant el disseny d'un projecte. Aquests aspectes addicionals no pretenen substituir l'enfocament tradicional de cost/temps/qualitat, que encara s'ha de considerar com a ingredients essencials en projectes satisfactoris. No obstant això, els requeriments d'enginyeria tradicional han evolucionat per abastar una àmplia gamma de consideracions. Aquests són necessaris perquè l'enginyeria civil contribueixi eficaçment al desenvolupament sostenible.

Aquesta activitat es divideix en dues seccions o blocs, amb una durada total de dues hores. Per a la metodologia, proposem treballar en grups reduïts (és a dir, de 3 a 4 persones); es donen més detalls a cada bloc de l'activitat.

#### **Activitat a l'aula: Bloc I**

En la primera part de l'activitat de classe, programada durant una hora de treball, els estudiants haurien de llegir el document titulat "Widening engineering horizons: addressing the complexity of sustainable development" (Fenner et al., 2006).

En grups reduïts, l'alumnat hauria de llegir primer les vuit dimensions detallades dins de l'article acadèmic i, a continuació, seleccionar i justificar quina d'aquestes dimensions sembla més rellevant per a ells. Per a això, es donaran 20 minuts per a la lectura i de 10 a 15 minuts, per discutir i seleccionar la dimensió més rellevant des del seu punt de vista.

Finalment, l'alumnat ha de compartir els punts de vista del grup en un debat general que s'espera que duri entre 25 i 30 minuts.

## Activitat a l'aula: Bloc II

Aquesta segona part s'espera que trigui una altra hora de treball. Us suggerim que es mantinguin els mateixos grups de treball. Com en el bloc I, la idea és fomentar la discussió, primer en cada grup i després amb tots els participants per tancar l'activitat, amb 30 minuts assignats per a cada debat.

Durant l'activitat proposada, s'haurà d'omplir la *Taula 1*. En aquesta taula, s'identifiquen diversos indicadors, amb una breu definició de cadascun d'ells. Els indicadors proposats s'han extret de l'informe desenvolupat per BCNecologia (2010). No recomanem que proporcioneu l'origen de referència a l'alumnat; més aviat, el docent hauria de destacar que aquests indicadors podrien ser utilitzats en la presa de decisions, tant pel disseny d'un projecte com per prioritzar on executar-lo, com a l'exemple de Barcelona (és a dir, quina part de la Ronda de Dalt es cobriria primer). L'objectiu d'aquest exercici és detallar els impactes directes i indirectes relacionats amb un valor (puntuació) alt dels indicadors proposats. Un valor baix tindria impactes oposats, de manera que s'evita que no sigui redundant.

**Taula 1** *Indicadors proposats sobre els quals s'ha de basar la discussió sobre possibles impactes directes i indirectes.*

Indicador	Definició	Impactes directes	Impactes indirectes
Densitat de població	Població existent per hectàrea		
Índex d'envelliment	Relació quantitativa entre persones grans i joves en un territori determinat		
Població estrangera	Distribució espacial de la població immigrant, tenint en compte el seu nombre i el de la població total		
Educació superior	Persones amb estudis superiors, tenint en compte el seu nombre i el de la població total		
Habitatge protegit	Accés a l'habitatge per a aquelles persones amb menys nivell adquisitiu		
Transport públic	Accés a una xarxa de transport públic assequible i eficaç		
Espais verds	Proximitat a zones verdes en una part determinada d'una ciutat		

### 3.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVUACIÓ

#### Activitat a l'aula: Bloc I

No hi ha cap solució específica per a aquesta activitat, ja que és una resposta oberta. La idea principal és donar a l'alumnat la possibilitat de seleccionar la dimensió que considerin més rellevant i, més important, compartir i defensar els seus arguments.

Com a suport per al docent, qui ha de ser el moderador/a d'aquesta activitat, oferim orientació addicional (extreta de Fenner et al., 2006):

- Una base ètica i la justícia a través de la participació condueixen a **nous valors** aplicables en la presa de decisions d'enginyeria;
- Una visió de futur, escales d'interconnexió i un context del sistema, constitueixen la base per a **nous processos** que es poden utilitzar per definir millor els problemes i oferir orientació a l'hora d'escollir les estratègies adequades per al desenvolupament;
- La rendició de comptes financera holística, el manteniment del capital natural i la provisió eficient d'infraestructures coordinades proporcionen **noves limitacions** a l'hora de formular solucions.

En el cas que tots els grups hagin seleccionat la mateixa dimensió, es pot dir que la discussió pot anar dirigida a exposar els motius per no haver escollit cap altra dimensió com a més rellevant.

#### Activitat a l'aula: Bloc II

Per avaluar la segona part de l'activitat, hem proporcionat diversos impactes quan aquell indicador adquireix un valor alt (*Taula 2*). Tingueu en compte, però, que aquestes solucions només es proporcionen per oferir orientacions per donar suport a la discussió general.

**Taula 2** Exemples de possibles impactes directes i indirectes sobre els indicadors proposats.

INDICADOR	IMPACTES DIRECTES	IMPACTES INDIRECTES
Densitat de població	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Congestió en termes d'espai públic i serveis</li> <li>- Compacitat de la ciutat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- D'alguna manera, representa un cost en termes de temps en accedir a diversos serveis. Menys espai s'associa amb cada individu, que pot causar problemes de salut</li> <li>- Menor consum de recursos (és a dir, el transport per proporcionar aliments). En àrees disperses, seria menys eficient</li> </ul>

INDICADOR	IMPACTES DIRECTES	IMPACTES INDIRECTES
Índex d'envelliment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menys cohesió de diversos grups d'edat a través del contacte en el mateix espai físic</li> <li>- Canvis en les demandes socials (més assistència sanitària i social)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pèrdua de transferències d'experiència intergeneracional</li> <li>- Pèrdues potencials en diverses activitats socioeconòmiques</li> </ul>
Població estrangera	- Menys cohesió de grups de diferents països a través del contacte en el mateix espai físic	- Prevalença dels estereotips existents
Educació superior	- Menor cohesió dels grups amb diversos ingressos a través del contacte en el mateix espai físic. Grups de població menys diversos	- Generació potencial de nous estereotips associats a aspectes d'ingressos
Habitatge protegit	- Mitigació de la segregació espacial dins de la ciutat	- Augment de la cohesió social
Transport públic	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilitat per millorar la mobilitat col·lectiva</li> <li>- Menor contaminació atmosfèrica i acústica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Els costos de transport són possiblement inferiors als de l'ús de cotxes</li> <li>- Efectes positius sobre la salut</li> </ul>
Espais verds	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augment de les activitats recreatives</li> <li>- Menys contaminacions atmosfèriques</li> <li>- Manteniment dels ecosistemes urbans i la biodiversitat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augment de la cohesió social</li> <li>- Efectes positius sobre la salut</li> <li>- Satisfacció de la "necessitat de la naturalesa humana"</li> </ul>

### Críteris d'avaluació

Per tal d'oferir a l'alumnat un sistema d'avaluació objectiu i transparent, us suggerim que utilitzeu la rúbrica proporcionada (vegeu l'*Annex IX*), que detalla: i) el coneixement que s'espera que adquireixi l'alumnat, i ii) els críteris que s'utilitzaran per avaluar el contingut de la resolució associada a les activitats proposades.

Abans de dur a terme aquestes activitats, cal compartir la rúbrica entre l'alumnat amb l'objectiu d'informar de quins continguts seran avaluats. D'aquesta manera, se l'hi dona algunes orientacions perquè pugui dur a terme les activitats proposades.

Concretament, per avaluar els dos blocs I i II, cada grup ha de presentar un document escrit responent les preguntes plantejades. Aquestes respostes seran avaluades en funció de la rúbrica proposada. Tanmateix, el professorat pot triar un mètode d'avaluació alternatiu si ho considera més apropiat.



#### 4. ACTIVITAT AUTÒNOMA FORA DE L'AULA

Aquesta activitat s'organitza en dues parts complementàries diferents. La primera s'ocupa de la construcció d'un indicador compost com a eina de suport a la presa de decisions. I la segona consisteix a proposar un disseny tècnic mitjançant l'ús de solucions amb formigó pretensat. En ambdós casos, les activitats sol·licitades s'aplicaran al context de Barcelona, que s'ha introduït prèviament.

Tota l'activitat es desenvoluparà en grups reduïts (és a dir, de 3 a 4 persones). Recomanem utilitzar els mateixos grups creats a l'aula, per tal de facilitar-ne l'avaluació. Mentre que la primera part requereix d'unes 2-4 hores de treball, la segona part es podria desenvolupar durant tot un semestre acadèmic. En aquest sentit, i amb el suport constant del docent, aquesta última part es pot associar a la metodologia de l'Aprenentatge Basat en Projectes (PBL de les sigles en anglès). PBL és un mètode d'ensenyament en el qual l'alumnat adquireix coneixements i habilitats treballant durant un període prolongat de temps, durant el qual se'l convida a investigar i respondre a una pregunta, problema o desafiament autèntic, atractiu i complex. Per tant, l'alumnat desenvoluparà la competència genèrica del treball en equip i, a més, experimentarà en un període curt, un ambient professional.

Concretament, en termes de metodologia, l'assoliment d'aquesta activitat s'organitza a través de diversos tallers, que són paral·lels a la progressió dels continguts del curs (per a un exemple aplicat, vegeu l'*Annex X*). En aquests tallers, el docent haurà de fer una presentació guiada al començament de la sessió, i l'alumnat haurà de treballar amb els seus equips per desenvolupar el projecte. S'aconsellaran alguns objectius específics al començament de cada sessió. Per tant, s'espera que l'alumnat progressi en els seus projectes fixant el seu propi ritme d'aprenentatge. Breument, i després de rebre el plànol topogràfic, l'alumnat hauria d'establir una llista de condicions de contorn. Tenint en compte les diferents condicions de contorn, l'alumnat hauria de definir la vista en planta i en alçat de la coberta per a vianants de la Ronda de Dalt. A més, l'alumnat haurà de definir prèviament les dimensions dels elements estructurals (coberta, piles i estreps). Després, s'haurà de desenvolupar un model estructural per obtenir els envolupants d'esforços axils, d'esforços tallants i de moments de flexió per a les combinacions d'Estat Límit Últim (ELU) i d'Estat Límit de Servei (ELS). A continuació, els equips de treball hauran de calcular l'armadura interior de l'acer i l'armadura pretensada necessària per aconseguir els diferents ELU i ELS. Finalment, s'haurà d'incloure un pressupost dels materials necessaris per a la construcció de la coberta de vianants, considerant els següents elements: formigó, encofrat, armadura pretensada i armadura interior de l'acer. El darrer dia de classe, l'alumnat pot presentar un breu resum justificant l'actuació de l'àrea seleccionada i de la solució estructural, mostrant plànols de la vista en planta, en alçat i la secció transversal, juntament amb el pressupost de l'estructura.

### Activitat autònoma fora de l'aula: Part I

En aquesta primera part, l'alumnat ha de dissenyar un indicador compost com a eina de decisió per prioritzar quina secció de la Ronda de Dalt s'ha de cobrir primer. A més, s'haurà de reflexionar i vincular les solucions des de la perspectiva del codi deontològic d'enginyers (codi ètic) que figura a l'*Annex XI*.

**Taula 3** Divisió de districtes i barris seleccionats en diferents grups.

Grup	Districte	Barris afectats
I	Horta - Guinardó	La Vall d'Hebron Horta
II	Nou Barris	La Guineueta Canyelles
III	Nou Barris	Les Roquetes Verdun
IV	Nou Barris	La Prosperitat La Trinitat Nova

Tal com assenyala el Ple del Consell Municipal, els districtes que tenen més necessitat d'intervenció urgent són Horta-Guinardó i Nou Barris. Tenint en compte la ubicació de la Ronda de Dalt i els barris d'aquests districtes, és possible definir quatre grups separats (*Taula 3*). La intervenció potencial s'unirà als barris d'aquests grups.

Per dissenyar l'indicador compost, s'han de seguir els diferents passos introduïts a la secció 2.4. Almenys s'ha d'utilitzar un conjunt d'indicadors, així com una metodologia de ponderació i un mètode d'agregació. Pel que fa a aquest últim punt, es podria desenvolupar un indicador jeràrquic compost utilitzant diversos índexs parcials. Els indicadors i les dades estan disponibles en els *Annexos de I' al VIII*. Es poden utilitzar dades addicionals de la web del Consell de Barcelona: <http://www.bcn.cat/estadistica/angles/dades/barris/index.htm>.

Finalment, l'alumnat ha de proporcionar una discussió sobre l'indicador compost dissenyat, inclosos els motius per haver seleccionat els indicadors i els mètodes emprats.

### Activitat autònoma fora de l'aula: Part II

Un cop seleccionada la ubicació de l'àrea d'intervenció a cobrir de la Ronda de Dalt, segons l'indicador compost desenvolupat, s'ha de dur a terme la solució constructiva del projecte. En aquest sentit, cal tenir en compte diversos aspectes.

L'Ajuntament proporciona la topografia de la zona a una escala d'1:1000 (vegeu l'*Annex XII*), i estableix com a condició que l'estructura sigui independent de la que existeix. El gàlib



mínim de la Ronda de Dalt i les rampes serà de 5.0 m. Un estudi específic considerant el pendent de les rampes i el gàlib permetrà definir l'àrea que es cobrirà en el projecte.

Atès que l'activitat fa referència a l'assignatura/curs de formigó pretensat, el disseny girarà al voltant d'una proposta empleant formigó pretensat (in situ o prefabricat). La secció transversal pot ser una llosa sòlida, una llosa alleugerida o una secció calaix, depenent de la decisió del dissenyador. La profunditat de la llosa pot ser constant o variable.

L'àrea coberta estarà dedicada a l'espai públic i a una possible zona enjardinada, que requerirà un recobriment de terra d'aproximadament 1.50 m de gruix.

La llosa seguirà un esquema de dues mènsules, recolzant-se en una paret al llarg de la franja central de la Ronda de Dalt.

Les càrregues s'han de tenir en compte d'acord amb la normativa "*Instrucción sobre las Acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de carretera*" (IAP-11). Aquest document es pot descarregar del Ministeri de Foment<sup>7</sup>. D'una manera simplificada, es pot assumir la càrrega variable amb un valor uniforme de 15 kN/m<sup>2</sup>. Les càrregues horitzontals, de vent i tèrmiques es despreciaran en aquesta activitat.

En el cas que s'adopti una solució postensada, el sistema emprat s'ajustarà al catàleg comercial existent (és a dir, Mk4, Diwidag, Stronghold, VSL, etc.), els ancoratges actius es col·locaran en un o ambdós extrems, i les seves dimensions s'establiran d'acord amb el catàleg. L'ancoratge mecànic tindrà una penetració de 5 mm de falca,  $\mu = 0.21$ ,  $k/\mu = 0.008\text{m}^{-1}$ .

El control de qualitat serà intens.

Tots els càlculs de l'activitat s'ajustaran segons les *Instrucciones de Hormigón Estructural* de Espanya (EHE-08<sup>8</sup> o Eurocodi-2). Les suposicions s'han d'explicar al llarg de la solució.

Els punts que calen incloure són:

#### A) Pre-disseny de la llosa pretensada

- Definir la geometria de la proposta final a través d'un dibuix de la planta i l'alçat, col·locant suports intermedis utilitzant la topografia local i el programari Autocad

<sup>7</sup> <https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/2E268DB6-87AC-41C9-A331-32C63C25195C/111523/0820303.pdf>

<sup>8</sup> [https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/ORGANOS\\_COLEGIADOS/MASORGANOS/CPH/instrucciones/EHE\\_es](https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/MASORGANOS/CPH/instrucciones/EHE_es)

(Annex XII). El format de presentació hauria de ser prou clar com per presentar-lo a l'Ajuntament;

- Realitzar el pre-disseny de la secció transversal de la coberta, incloent-hi un esbós;
- Obtenir l'envolupant dels esforços axils i tallants, i els moments de flexió de les combinacions d'estat límit últim (ELU) i d'estat límit de servei (ELS);
- Obtenir les propietats mecàniques de la secció transversal de la llosa.

### B) Disseny de la llosa pretensada

- Pre-dissenyar la força de pretensat i l'excentricitat requerida a la secció de suport per satisfer l'estat del límit de fissura;
- Obtenir la força de pretensat en l'ancoratge mecànic, l'àrea de pretensat, el nombre de tendons i el diàmetre de la beina. Per a la secció de suport (extrem de la mènsula), dibuixeu el diagrama de Magnel i proposeu una solució per a aquesta secció en termes de "P" i "e". Basant-se en els resultats obtinguts fins a aquest punt, reflexioneu i discutiu sobre la idoneïtat d'aquesta secció per resistir les càrregues externes. Dibuixa el traçat de l'armadura activa en diverses seccions, així com el traçat del tendó equivalent, verificant que es trobi dins del nucli límit aproximat;
- Obteniu les tensions a curt i llarg termini per almenys 20 seccions de la coberta i verifica l'ELS de fissura. Es recomana calcular l'estat tensional a totes les seccions equidistants 0.50 m entre si;
- Calcular l'allargament del tendó, així com el desplaçament vertical degut a la força de pretensat en l'extrem lliure de la mènsula. Calcular també el desplaçament vertical a llarg termini;
- Comproveu l'ELU de flexió en la pitjor secció, fixant l'armadura passiva longitudinal necessària;
- Comprovar l'ELU tallant, calculant l'armadura transversal necessària;
- Seleccionar els dispositius d'ancoratge adequats, comprovant els esforços en el formigó que es troba a sota la placa d'ancoratge i definir l'armadura passiva necessària;

- Presentar els plànols de la geometria general de la proposta final i els plànols de les armadures passives i actives.

### C) Obtenir el pressupost per al projecte de disseny

#### 4.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVALUACIÓ

##### **Activitat autònoma fora de l'aula: Part I**

En primer lloc, es presenten els indicadors utilitzats per a la construcció de l'indicador compost (vegeu la *Taula 4*). A més, també es detallen les definicions dels indicadors i l'estructura de l'indicador compost. La raó de ser de l'índex general, anomenat "Índex de prioritat", és avaluar els aspectes socioeconòmics dels barris disponibles. També s'avalua l'accés als serveis públics. Com que la coberta de la Ronda de Dalt està dissenyada per proporcionar una connexió verda entre els barris, no es tenen en compte els aspectes mediambientals per tal de simplificar l'indicador compost. No obstant això, la proposta es pot amplificar amb aquells indicadors i aspectes que els estudiants considerin rellevants.

Com que es mesuren els indicadors seleccionats en diferents unitats, es du a terme un procés de normalització per tal de poder treballar-los tots junts. Els indicadors de densitat de població i Índex de renda de la població s'han triat per il·lustrar la metodologia emprada. Per tant, els barris amb més densitat i de baixos ingressos (índex de renda familiar disponible, "RFD") tindran valors més baixos (veure *equacions 1 i 2*). La normalització d'aquests indicadors es calcula per al barri de La Guineueta, i els resultats per a la resta es presenten a la *Taula 5*.

$$\text{Densitat}_{\text{norm}} = 1 - \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_q^t)}{\max(x_q^t) - \min_c(x_q^t)} = \frac{674-622}{957-622} = 0.54$$

$$\text{RFD}_{\text{norm}} = \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_q^t)}{\max(x_q^t) - \min_c(x_q^t)} = \frac{55.9-47.8}{92.6-47.8} = 0.36$$

**Taula 4** Estructura de l'Índex de prioritat en indicadors i índexs parcials i general.

Índex general	Índexs parcials	Indicadors	Definició
ÍNDEX DE PRIORITAT	Aspectes socials	S.1. Densitat	habitants / àrea residencial
		S.2. Percentatge d'immigrants	Població estrangera / població total
		S.3. Índex d'envelliment	(Persones de 65 anys / persones de 15 anys) * 100
		S.4. Percentatge de persones amb discapacitat	Persones amb discapacitat / població total
	Aspectes econòmics	E.1. Índex de renda familiar disponible (RFD)	Nivell mitjà de renda familiar disponible per càpita dels habitants del barri en relació amb la mitjana de Barcelona (Índex 100)
		E.2. Desocupació registrada	Percentatge d'aturats / població entre 16 i 65 anys (variació interanual)
		E.3. Educació superior	Població amb educació superior / població major de 16 anys
	Equipament públic i cultural	P.1. Biblioteques públiques	Valor absolut
		P.2. Ús de l'àrea d'equipament públic	(Àrea d'ús d'equipament públic / àrea total) * 100

**Taula 5** Resultats associats al procés de normalització dels indicadors de densitat i RFD.

Barri	Densitat	Densitat <sub>norm.</sub>	RFD	RFD <sub>norm.</sub>
La Vall d'Hebron	732	0.42	92.6	1.00
Horta	419	1.00	80.9	0.80
La Guineueta	674	0.53	55.9	0.36
Canyelles	622	0.62	55.6	0.35
Les Roquetes	846	0.21	47.8	0.21
Verdun	859	0.18	55.4	0.35
La Prosperitat	957	0.00	54.0	0.32
La Trinitat Nova	577	0.71	35.6	0.00

A continuació es presenten els resultats relacionats amb tots els indicadors normalitzats:

**Taula 6** Resultats associats al procés de normalització de tots els indicadors.

Barri	S.1	S.2	S.3	S.4	E.1	E.2	E.3	P.1	P.2
La Vall d'Hebron	0.42	0.73	0.25	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
Horta	1.00	0.60	0.24	0.83	0.80	1.00	0.74	1.00	0.18
La Guineueta	0.53	0.80	0.00	0.18	0.36	0.68	0.57	1.00	0.39
Canyelles	0.62	1.00	0.07	0.00	0.35	0.68	0.22	1.00	0.48
Les Roquetes	0.21	0.00	1.00	0.47	0.21	0.68	0.06	0.00	0.18
Verdun	0.18	0.07	0.51	0.46	0.35	0.68	0.20	1.00	0.00
La Prosperitat	0.00	0.40	0.25	0.69	0.32	0.83	0.27	0.00	0.17
La Trinitat Nova	0.64	0.07	0.95	0.16	0.00	0.77	0.00	0.00	0.29

En aquest punt, cal esmentar que un mètode alternatiu, pot ser tenir en compte la tendència dels indicadors, en lloc d'una imatge fixa del 2016. Considerar els aspectes temporals pot proporcionar una anàlisi diferent i, en conseqüència, conduir a prendre decisions diferents. Això s'ha fet per l'indicador relacionat amb l'atur registrat.

**Taula 7** Estructura del "Índex de prioritat": i) indicadors i índexs parcials i generals; ii) assignació de peses; i iii) metodologia d'agregació.

Índex general		Índexs parcials		Indicadors
ÍNDEX DE PRIORITAT (IP)	Pesos iguals i agregació geomètrica	Aspectes socials	Pesos iguals & Agregació additiva	S.1. Densitat
				S.2. Percentatge d'immigrants
				S.3. Índex d'envelliment
				S.4. Percentatge de persones amb discapacitat
		Aspectes econòmics	Pesos iguals & Agregació additiva	E.1. Índex de renda familiar disponible (RFD)
				E.2. Desocupació registrada
				E.3. Educació superior
		Equipament públic i cultural	Pesos iguals & Agregació additiva	P.1. Biblioteques públiques
				P.2. Ús de l'àrea d'equipament públic

El següent pas per a la construcció de l'indicador compost és assignar pesos i seleccionar la metodologia d'agregació. Per al primer aspecte, es trien pesos iguals per a l'agregació dels dos indicadors i dels índexs parcials. No obstant això, és possible utilitzar diferents pesos en funció de les prioritats del dissenyador. En relació amb el segon aspecte, primer es selecciona l'agregació additiva per a la construcció d'índexs parcials. La raó principal rau en

l'existència de valors nuls com a conseqüència del procés normalitzat. D'aquesta manera, es permet la compensació entre els indicadors. Finalment, s'utilitza una agregació geomètrica per a la construcció de l'índex general. Com que la primera compensació ja s'ha dut a terme, la idea principal és penalitzar aquells índexs parcials que ja són baixos. En la *Taula 7* es mostra una representació de totes aquestes consideracions.

Finalment, els resultats dels índexs parcials i el general es presenten a la *Taula 8*. Com es pot veure, el barri de Les Roquetes seria el candidat on executar la cobertura de la secció de la Ronda de Dalt, segons l'indicador compost desenvolupat (IP = 0.23). No obstant això, l'execució del projecte pretén unir a dos barris. A partir d'això, i tenint en compte els valors dels barris agrupats (vegeu *Taula 3*), la decisió cauria sobre La Prosperitat i La Trinitat Nova (IP = 0.24 i IP = 0.26, respectivament).

**Taula 8** Resultats sobre índexs parcials i general. Els valors més baixos indiquen una prioritat més alta tal com es reflecteix en el rànquing (on 1 indica la prioritat més alta, i 8, la més baixa).

Barri	Aspectes socials	Aspectes econòmics	Equipament públic i cultural	ÍNDEX DE PRIORITAT (IP)	Rànquing
La Vall d'Hebron	0.60	0.67	0.50	0.59	7
Horta	0.67	0.85	0.59	0.69	8
La Guineueta	0.38	0.53	0.69	0.52	6
Canyelles	0.42	0.42	0.74	0.51	5
Les Roquetes	0.42	0.32	0.09	0.23	1
Verdun	0.31	0.41	0.50	0.40	4
La Prosperitat	0.34	0.48	0.09	0.24	2
La Trinitat Nova	0.47	0.26	0.15	0.26	3

El vincle amb el codi deontològic d'enginyeria (*Annex IX*) dependrà dels indicadors seleccionats. En aquest cas, per exemple, dissenyar i utilitzar l'índex proposat compliria els dos primers principis del codi ètic:

- Millora del benestar humà i del medi ambient;
- Honestat i imparcialitat, servint amb fidelitat al públic

A més, també es segueixen alguns dels cànons fonamentals:

- Complir amb els principis del desenvolupament sostenible;
- Realitzar serveis només en àrees de la seva competència;

- Emetre declaracions públiques només de manera objectiva i veraç;
- Evitar conflictes d'interès.

### Activitat autònoma fora de l'aula: Part II

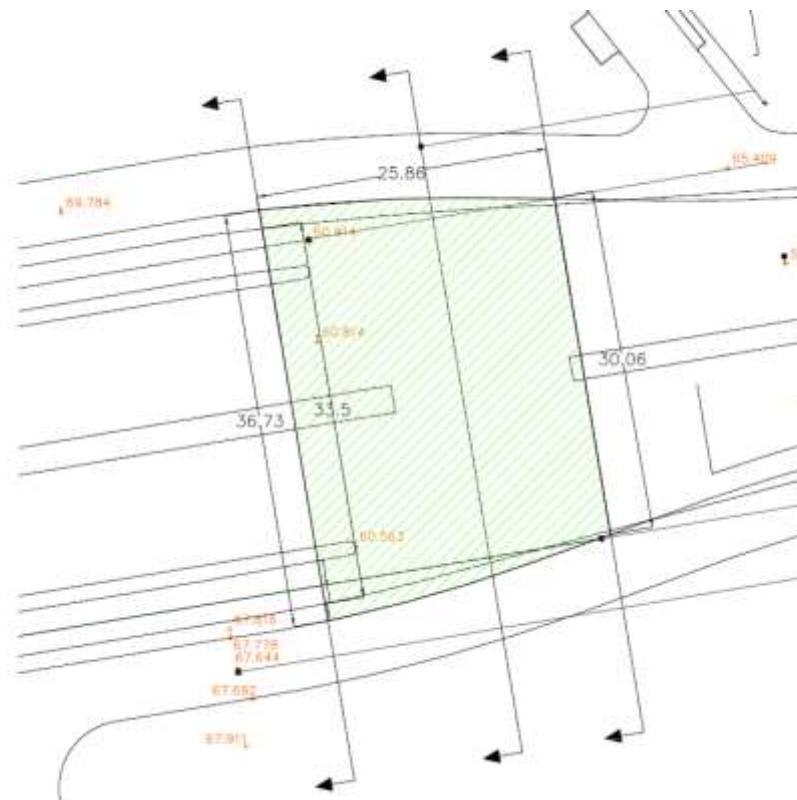
Un cop seleccionats els barris, la propera decisió és quina àrea hauria d'estar coberta. En aquest cas, s'ha triat la secció entre Via Julia i el carrer de Fenals. Cal assenyalar que, a causa de l'existència de dues rampes (Sortida 2 de Ronda de Dalt), no serà possible cobrir tota la secció esmentada anteriorment. Es realitzarà un estudi específic analitzant l'alçat.

A les pàgines següents, es proporciona una solució pas a pas pel que fa als aspectes i càlculs més rellevants. A l'*Annex XIII* es pot fer una consulta detallada de tots els càlculs. Es preveu que els estudiants proporcionin una solució similar per a l'avaluació de l'activitat.

#### A) Pre-disseny de la llosa pretensada

- Geometria de la solució proposada.

Les *Figures 9 i 10* mostren un esquema dels dibuixos inclosos a l'*Annex XIV*.



**Figura 9** Vista en planta de la zona a cobrir.

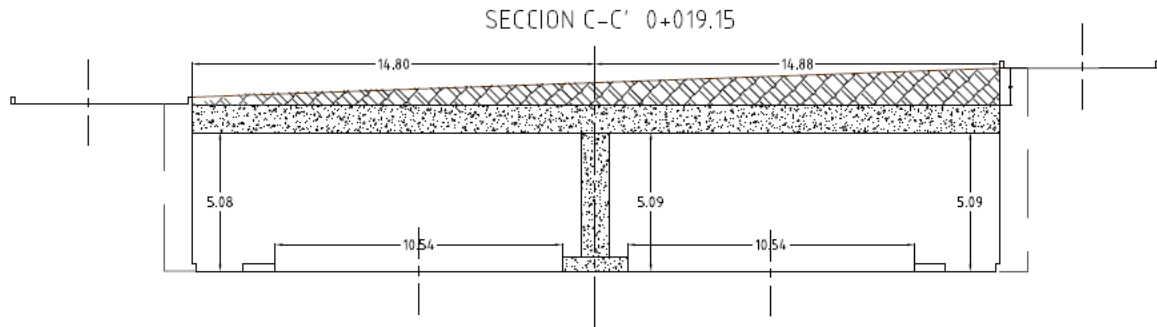


Figura 10 Secció transversal.

- Pre-disseny de la secció transversal de la coberta, incloent-hi un croquis.

La llosa pretensada postesada tindrà un esquema de la mènsula amb una llum de 14.85 m. La llosa serà d'1.2 m de gruix amb alleugeriments de Polièstirè expandit i amb una secció transversal de 0.80 x 0.80 m i un espai d'1.3 m entre els eixos. Aquesta no és l'única solució possible, i l'alumnat en pot seleccionar una altra.

- L'envolupant d'esforços axils, tallants i moments de flexió de les combinacions ELU i ELS.

Les càrregues considerades en els càlculs d'acord amb les directrius de l'IAP-11 són:

Pes propi del formigó  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$

Pes del reblert (càrrega morta)  $\gamma_{sòl} = 20 \text{ kN/m}^3$ , 1.5 m gruix

Càrrega variable  $Q_{k1}$ -IAP11=5 kN/m<sup>2</sup>

Combinació d'accions:

### Estat límit últim

Situacions permanents o temporals:

$$\sum_{j>1}^n \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k1}$$

### Estats límit de servei

Només es consideren situacions de disseny persistents per a aquests estats límits.



Combinació poc probable o característica:

$$\sum_{j>1}^n \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$$

Combinació freqüent:

$$\sum_{j>1}^n \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \psi_{1,1} \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$$

Combinació quasipermanent:

$$\sum_{j>1}^n \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \sum_{i>1}^n \psi_{2,i} \gamma_{Q,i} Q_{k,i}$$

Els valors representatius de les accions s'han calculat d'acord amb el IAP-11.

La *Taula 9* mostra la càrrega total de cada combinació i els moments màxims de flexió a la secció més desfavorable de la llosa (per exemple, en la connexió amb el suport).

**Taula 9** Valors de càrrega i moments de flexió a la secció de connexió del suport.

VALORS DE CARGA I MOMENTS DE FLEXIÓ			
Estat Límit Últim (ELU)			
q <sub>ELU</sub> (kN/m)	98.5	M <sub>ELU</sub> (kN.m)	10,855.22
Estat Límit de Servei (ELS)			
q <sub>PP</sub> (kN/m)	23.0	M <sub>PP</sub> (kN.m)	-2,536.01
q <sub>p-p</sub> (kN/m)	68.5	M <sub>p-p</sub> (kN.m)	-7,552.90
q <sub>FREC</sub> (kN/m)	54.6	M <sub>FREC</sub> (kN.m)	-7,122.88
q <sub>cp</sub> (kN/m)	62.0	M <sub>cp</sub> (kN.m)	-6,836.20

- Propietats mecàniques de la secció transversal de la llosa.

$$A_c = 0.92 \text{ m}^2, I_c = 0.153 \text{ m}^4, v = 0.6\text{m}, v' = -0.6 \text{ m}$$

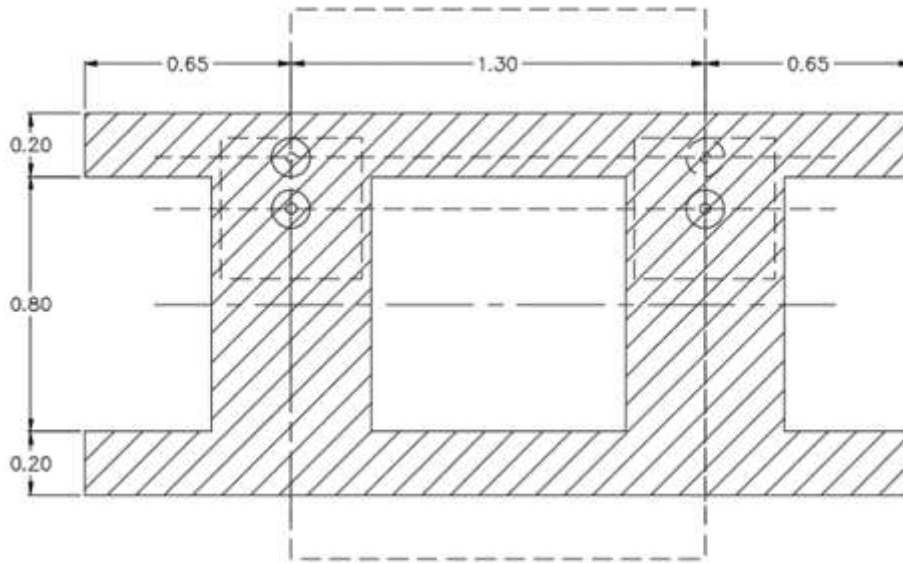


Figura 11 Secció de la llosa.

### Materials

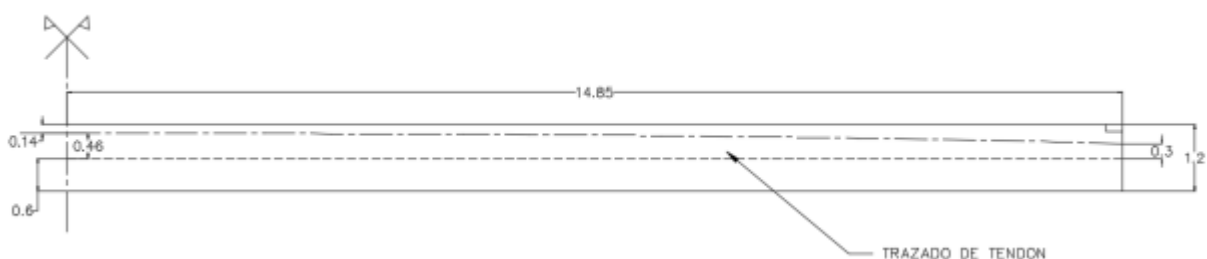
Formigó: HP-50/B/20/IIa

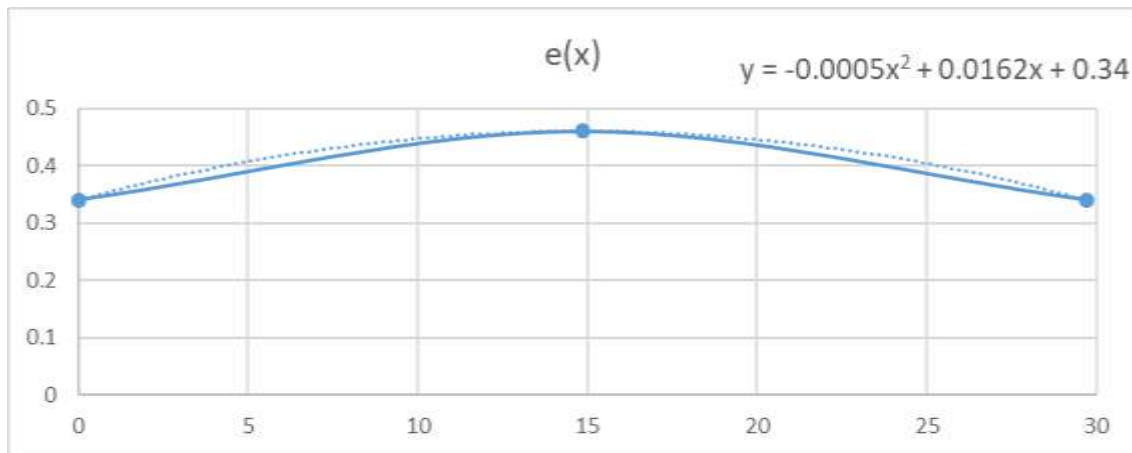
Armadura activa: Y1860/S7  $f_{puk} = 1860 \text{ N/mm}^2$   $f_{pyk} = 1770 \text{ N/mm}^2$ ;  $\rho_{\infty} = 7 \%$ ;  $E_p = 190 \text{ GPa}$ ,  
 $\mu = 0.21$ ,  $k/\mu = 0.008 \text{ m}^{-1}$ , sistema d'ancoratge:  $a = 5 \text{ mm}$

Armadura passiva: B500 SD,  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ ;  $E_s = 200 \text{ GPa}$

### B) Disseny de la llosa pretensada

- Força de pretensat i excentricitat requerida.
- Força de pretensat a l'ancoratge mecànic, àrea de pretensat, nombre de tendons i diàmetre de la beina. Diagrama de Magnel i solució en termes de "P" i "e". Reflexió i discussió. Traçat de l'armadura activa en diverses seccions i disposició del tendó equivalent;
- Tensions a curt i llarg termini en 20 seccions de la coberta.





**Figura 12** Traçat de l'armadura pretensada.

La *Figura 12* mostra el traçat de l'armadura pretensada, que s'ha definit mitjançant un procediment iteratiu intentant satisfer les condicions del nucli límit al llarg de tota la longitud de la mènsula. Inicialment a la secció de suport es va adoptar l'excentricitat màxima segons les especificacions de durabilitat.

La força de pretensat a l'ancoratge  $P_0$  hauria de ser inferior o igual que  $A_p \sigma_{po} = A_p \cdot \min \{0.75f_{p,max}; 0.85f_{pk}\}$ .

Segons la classe d'exposició IIa de la Instrucció EHE-08 (XC2 d'acord amb l'Eurocodi-2, UNE-EN\_1992 § 4.2), l'amplada màxima de fissura hauria de limitar-se a 0.2 mm per a la combinació freqüent, i la beina de l'armadura activa hauria d'estar comprimida de la secció sota la combinació de càrregues quasipermanents. La primera condició es compleix directament si les tensions de tracció en el formigó estan limitades a la resistència a tracció del formigó,  $f_{ctm}$ .

Per evitar l'aparició de fissures per compressió, per a la combinació més desfavorable de totes les combinacions persistents d'estat límit de servei, les tensions de compressió del formigó han de ser  $\sigma_c \leq 0.60f_{ck}(t)$ , on  $f_{ck}(t)$  és la resistència característica del formigó el dia  $t$ .

La secció més desfavorable és la secció de suport a la mènsula. Per tant, la força de pretensat es calcula verificant l'ELS de fissura en aquesta secció; en altres paraules, les inequacions de Magnel s'han de satisfer en buit i en servei a llarg termini.

**Taula 10** Propietats del material a tenir en compte al dissenyar la força de pretensat

PROPIETATS DEL MATERIAL			
FORMIGÓ		ARMADURA ACTIVA	
$f_{ck}$ (MPa)	50	$f_{yp}$	1,770
$f_{cm, 28}$ (MPa)	58	$f_{up}$	1,860
$f_{ck, 7}$ (MPa)	35.2	$E_p$	190,000
$\sigma_{max, c}$ (MPa)	30	$\epsilon_{pyd}$	8.10E-03
$f_{ctm, IIa}$ (MPa)	( $f_{rec}: f_{ctm, 7} - p-p:0$ )	$\epsilon_{pu}$	8.90E-03
$f_{ctm, 7}$ (MPa)	2.9	$\gamma_{p\_fav}$	0.9
$f_{ctm, 28}$ (MPa)	4.1	$\gamma_{p\_des}$	1.1
$E_c, 7$ (MPa)	27,808	$n_p, 7300$	5.57
$E_c, 28$ (MPa)	30,887	$F_{pmax}, A_p$ (kN)	
$E_c, 7300$ (MPa)	34,084	EC-2	EHE-08
$n_s, 28$	6.47	12,499.20	12,499.20
$n_p, 28$	6.15		

$$(1) \rightarrow \text{Transferència: } (f_{superior}) \rightarrow \frac{M_{pp}v}{Ic} + \frac{\gamma_p P_{ki} e_p' v}{Ic} + \frac{\gamma_p P_{ki}}{Ac} \leq \sigma_{max,c(7)} = 21.12 \text{ MPa}$$

per a  $e_p' = 460 \text{ mm} \rightarrow P_{ki} < 9,770 \text{ kN}$

$$(2) \rightarrow \text{Transferència: } (f_{inferior}) \rightarrow \frac{M_{pp}v'}{Ic} + \frac{\gamma_p P_{ki} e_p' v'}{Ic} + \frac{\gamma_p P_{ki}}{Ac} \geq -f_{ctm,7} = -2.9 \text{ MPa}$$

per a  $e_p' = 460 \text{ mm} \rightarrow P_{ki} < 16,299 \text{ kN}$

$$(3) \rightarrow \text{Servei: } (f_{superior}) \rightarrow \frac{M_{frec}v}{Ic} + \frac{\gamma_p P_{\infty} e_p' v}{Ic} + \frac{\gamma_p P_{\infty}}{Ac} \geq -f_{ctm,28} = -4.1 \text{ MPa}$$

per a  $e_p' = 460 \text{ mm} \rightarrow P_{\infty} > 9,158 \text{ kN}$

$$(4) \rightarrow \text{Servei: } (f_{inferior}) \rightarrow \frac{M_{p-p}v'}{Ic} + \frac{\gamma_p P_{\infty} e_p' v'}{Ic} + \frac{\gamma_p P_{\infty}}{Ac} \leq \sigma_{max,c(28)} = 30 \text{ MPa}$$

per a  $e_p' = 460 \text{ mm} \rightarrow P_{\infty} > -611 \text{ kN}$

$$(5) \rightarrow \text{Servei: } (f_{tendó pretesat}) \rightarrow \frac{M_{cp} e_p'}{Ic} + \frac{\gamma_p P_{\infty} e_p' e_p'}{Ic} + \frac{\gamma_p P_{\infty}}{Ac} \geq 0$$

per a  $e_p' = 460 \text{ mm} \rightarrow P_{\infty} > 9,244 \text{ kN}$

$$P_{min,max} = \{9,244 \text{ kN}, 9,770 \text{ kN}\}$$

Suposant el 25% de les pèrdues de pretensat,  $P_0 = 12,295$  kN, i dividint aquest valor pel màxim valor d'esforç, l'àrea pretensada requerida és de  $8,813 \text{ mm}^2$ . Es van triar dos tendons de 33 cordons de 0.6", on la superfície total pretensada és igual a  $9,240 \text{ mm}^2$ , i s'ha assumit una beina de 120 mm de diàmetre. Per tant, l'excentricitat màxima permesa a causa dels requisits de la coberta de formigó és igual a 0.46 m.

Després de definir el traçat del pretensat, es calculen les pèrdues de força i, a continuació, es calcula el nucli límit del formigó pretensat al llarg de tota la longitud de la mènula. Si el traçat del pretensat és a l'interior del nucli límit, i l'armadura activa està sempre pretensada per a la combinació quasipermanent, s'ha aconseguit dimensionar l'armadura de pretensat satisfactòriament. Durant el dimensionament s'ha d'aplicar un procediment iteratiu per verificar totes les inequacions de Magnel.

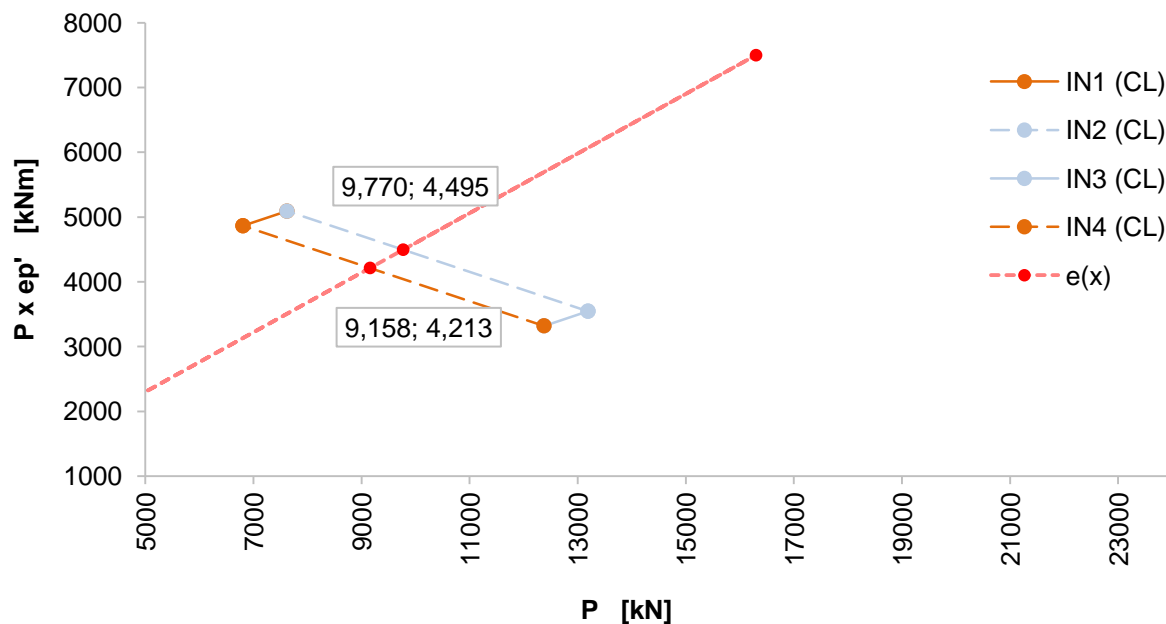


Figura 13 Inequacions de Magnel.

### Pèrdues de pretensat

#### 1) Pèrdues instantànies de pretensat

##### a. Pèrdua de l'esforç a causa de la fricció

$$\Delta P_1(x) = P_0(1 - e^{-(\mu\alpha(x) + kx)})$$

$$\mu \rightarrow 0.021$$

$$\alpha(x) \rightarrow e^{-(x)} - e^{-(x=0)}$$

$$\frac{K}{u} \rightarrow 0.008 \text{ m}^{-1}$$

x → Distància (m) entre la secció estudiada i l'ancoratge actiu

b. Pèrdua per penetració de la falca

$$\Delta P_2(x) = \Delta P_{2,(x=0)} \frac{l_a - x}{l_a}$$

$$\Delta P_{2,(x=0)} = 2P_0(1 - e^{-(\mu\alpha(l_a) + kl_a)}) = 1052.13 \text{ kN}$$

$$l_a = \frac{aE_p A_p}{\Delta P_1(l_a)} = \frac{aE_p A_p}{P_0(1 - e^{-(\mu\alpha(l_a) + kl_a)})} = 21.83 \text{ m}$$

c. Pèrdua a causa de l'escurçament elàstic del formigó

$$\Delta P_3(x) = \frac{n-1}{2n} \sigma_{cp}(x) \frac{A_p E_p}{E_{c(7)}}$$

$$\sigma_{cp}(x) = \frac{\gamma_p (P_0 - \Delta P_1 - \Delta P_2)}{A_c} + \frac{\gamma_p (P_0 - \Delta P_1 - \Delta P_2) e_p'^2}{I_c} + \frac{(M_{pp}(x)) e_p'}{I_c}$$

$$\Delta P_{ins}(x) = P_0 - \Delta P_1(x) - \Delta P_2(x) - \Delta P_3(x)$$

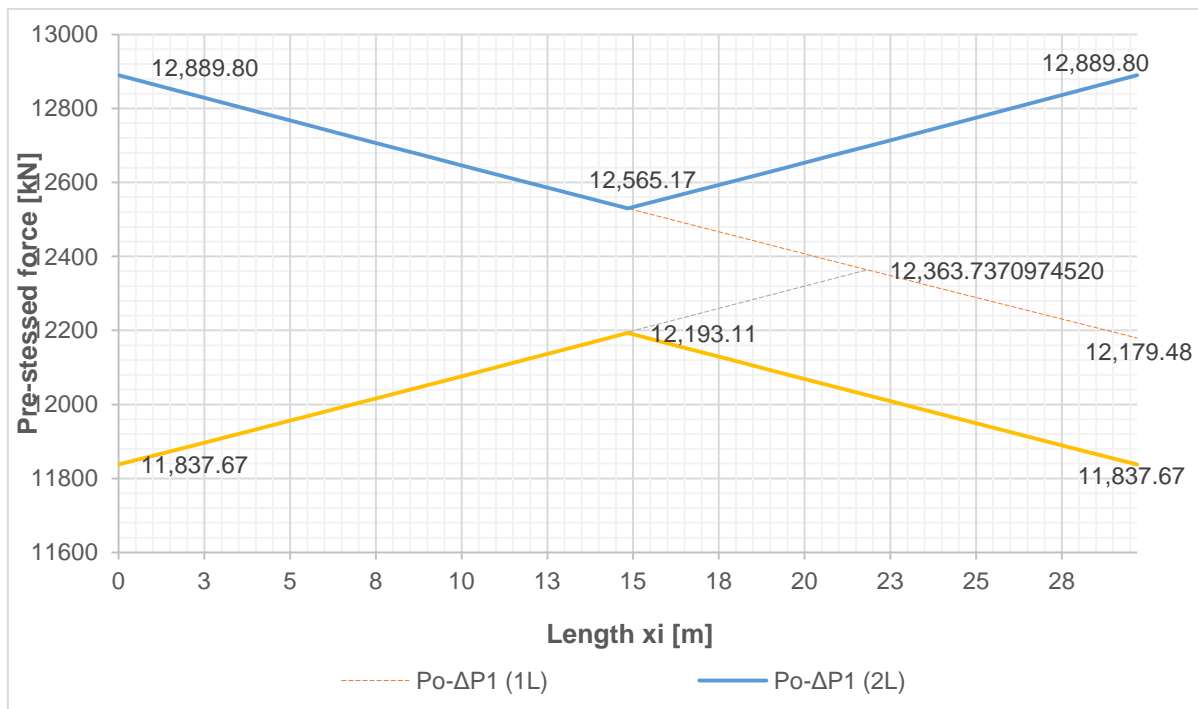


Figura 14 Pèrdues de pretensat a causa de la fricció i la penetració de la falca quan s'aplica l'esforç de tracció en els dos extrems lliures de la mènsula.

2) Pèrdues diferides de pretensat

$$\Delta P_{dif}(x) = \frac{n\varphi(t, t_0)\sigma_{cp}(x) + E_p \varepsilon_{cs}(t, t_0) + 0,80\Delta\sigma_{pr}(x)}{1 + n \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{A_c y_p^2(x)}{I_c}\right) [1 + \chi\varphi(t, t_0)]} A_p$$

$$y_p(x) = e'_p(x) = 460\text{mm}; n_p = \frac{E_p}{E_c} = 5.57; \varphi(t, t_0) = \varphi_0 \beta_c(t, t_0) = 1.5036;$$

$$\varepsilon_{cs}(t, t_0) = \varepsilon_{cs(7300)} - \varepsilon_{cs(7)} = 2.83 \times 10^{-4}$$

$$\sigma_{cp}(x) = \frac{y_p P_{ki}(x)}{A_c} + \frac{y_p P_{ki}(x) e_p'^2}{I_c} + \frac{(M_{(PP+CM)}(x) e_p')}{I_c}; \Delta\sigma_{pr}(x) = \rho_f \frac{P_{ki}(x)}{A_p}; \rho_f = 7\%; \chi = 0.80$$

**Taula 11** Força de pretensat després de les pèrdues instantànies i diferides

x	e(x)	Pki	ΔPi(x)	%	P∞	ΔPdif(x)	%
0.00	0.34	11,459.12	1,431	11.10	9,300.56	3,589.24	27.85
1.49	0.36	11,474.05	1,416	10.98	9,377.70	3,512.10	27.25
2.97	0.38	11,495.73	1,394	10.82	9,365.48	3,524.32	27.34
4.46	0.40	11,525.28	1,365	10.59	9,388.68	3,501.12	27.16
5.94	0.42	11,563.57	1,326	10.29	9,450.94	3,438.86	26.68
7.43	0.43	11,611.23	1,279	9.92	9,554.83	3,334.97	25.87
8.91	0.44	11,668.63	1,221	9.47	9,701.79	3,188.01	24.73
10.40	0.45	11,735.91	1,154	8.95	9,892.22	2,997.58	23.26
11.88	0.46	11,812.95	1,077	8.35	10,125.42	2,764.38	21.45
13.37	0.46	11,899.39	990	7.68	10,399.63	2,490.17	19.32
14.85	0.46	11,994.62	895	6.94	10,712.00	2,177.80	16.90
16.34	0.46	11,899.39	990	7.68	10,399.63	2,490.17	19.32
17.82	0.46	11,812.95	1,077	8.35	10,125.42	2,764.38	21.45
19.31	0.45	11,735.91	1,154	8.95	9,892.22	2,997.58	23.26
20.79	0.44	11,668.63	1,221	9.47	9,701.79	3,188.01	24.73
22.28	0.43	11,611.23	1,279	9.92	9,554.83	3,334.97	25.87
23.76	0.42	11,563.57	1,326	10.29	9,450.94	3,438.86	26.68
25.25	0.40	11,525.28	1,365	10.59	9,388.68	3,501.12	27.16
26.73	0.38	11,495.73	1,394	10.82	9,365.48	3,524.32	27.34
28.22	0.36	11,474.05	1,416	10.98	9,377.70	3,512.10	27.25
29.70	0.34	11,459.12	1,431	11.10	9,300.56	3,589.24	27.85

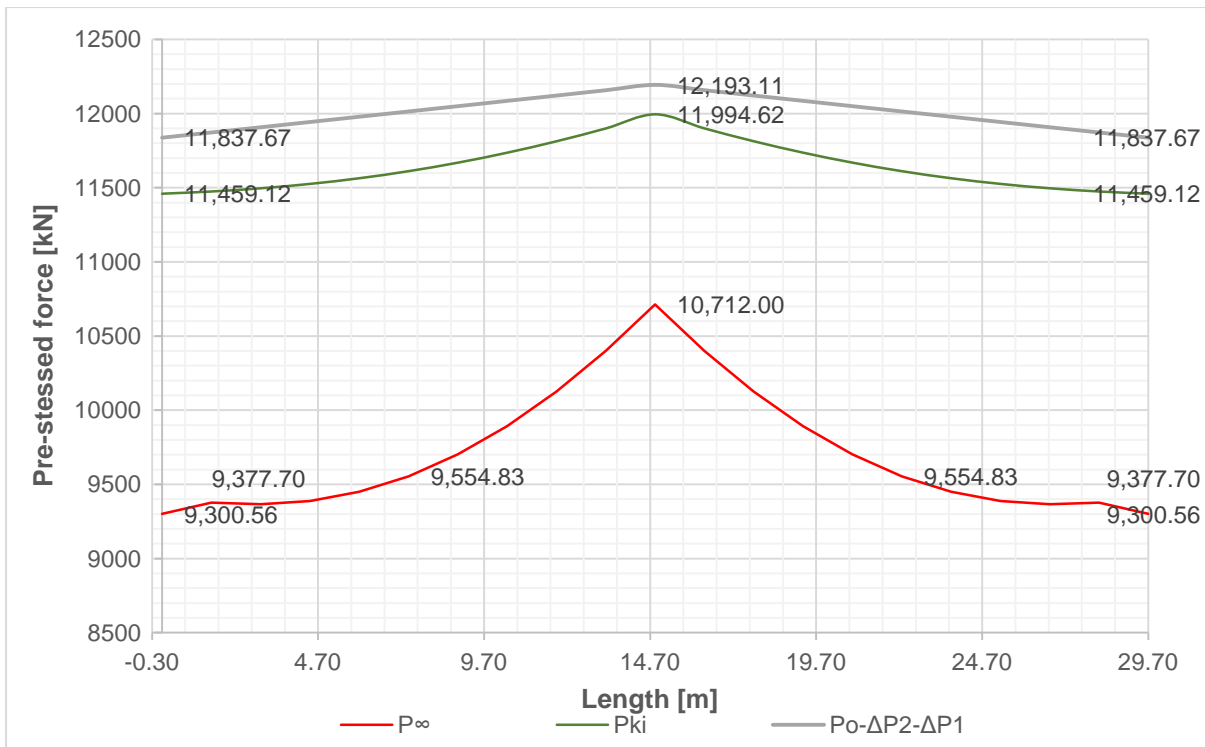
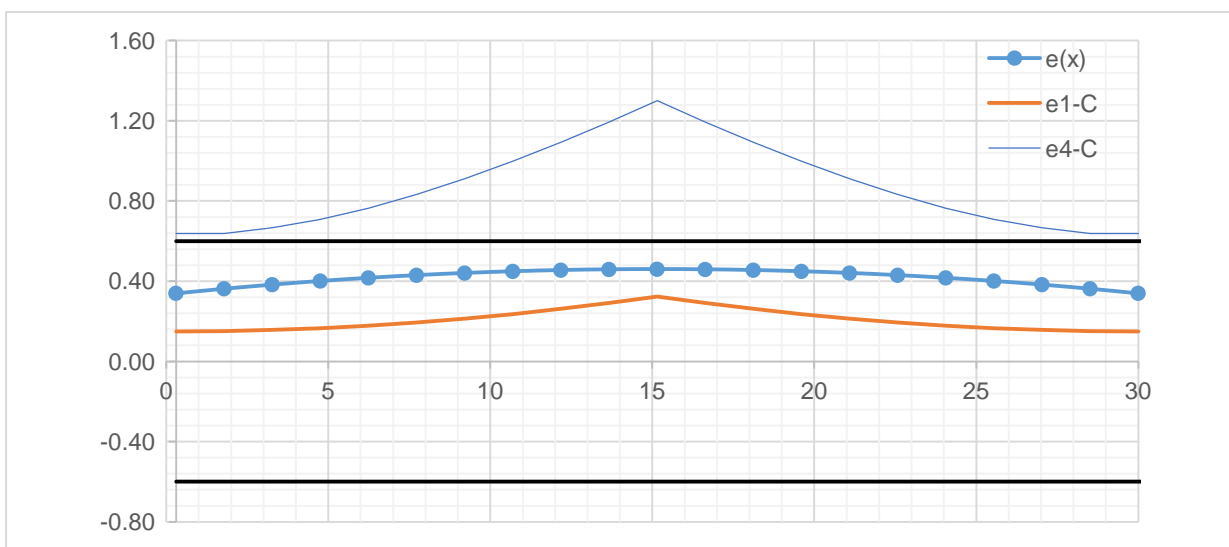
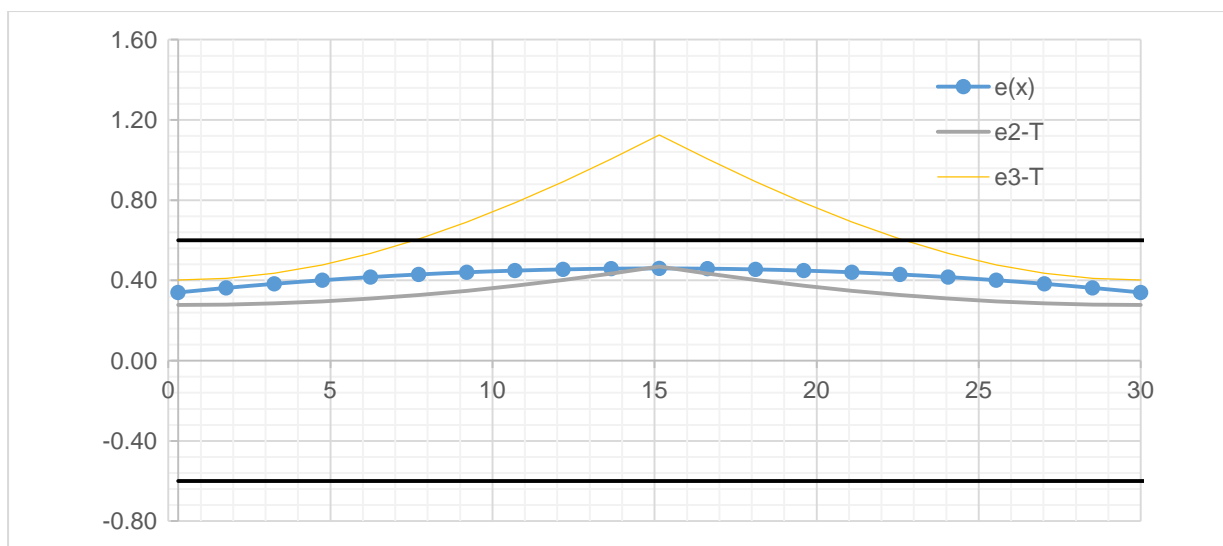


Figura 15 Esforç de pretensatge després de les pèrdues instantànies i diferides.

Finalment, el nucli límit s'ha obtingut al llarg de la longitud de la mènsula. Com s'observa a la Figura 16a, on la secció s'ha traçat juntament amb l'excentricitat i la compressió del nucli límit, l'excentricitat es troba entre els dos límits relacionats amb les inequacions (1) i (4) de Magnel. Per tant, ambdues inequacions es troben directament al llarg de tota la longitud de la llosa estudiada. A més, la Figura 16b mostra que l'excentricitat encaixa entre la tracció del nucli límit, verificant les inequacions de Magnel (2) i (3).







**Figura 16** a) *Compressió del nucli límit*; b) *Tracció del nucli límit*.

**Taula 12** *Esforç de l'armadura pretensada per a la combinació de càrrega quasipermanent.*

x	Ineq. (5) Magnel	
0.00	15,537	ok
1.49	16,385	ok
2.97	16,690	ok
4.46	16,591	ok
5.94	16,056	ok
7.43	15,067	ok
8.91	13,612	ok
10.40	11,694	ok
11.88	9,321	ok
13.37	6,512	ok
14.85	3,297	ok
16.34	6,512	ok
17.82	9,321	ok
19.31	11,694	ok
20.79	13,612	ok
22.28	15,067	ok
23.76	16,056	ok
25.25	16,591	ok
26.73	16,690	ok
28.22	16,385	ok
29.70	15,537	ok

- Allargament del tendó i desplaçament vertical degut a la força de pretensat en l'extrem lliure de la mènula. Desplaçament vertical a llarg termini.

A partir la força de pretensat després de les pèrdues de fricció, l'allargament del tendó es pot obtenir com la integral d'aquest perfil al llarg de la longitud de la mènula, dividit pel mòdul d'elasticitat pretensat i l'àrea pretensada.

$$\Delta l = \frac{P_0 - \Delta P_1(x=0) + P_0 - \Delta P_1(x=14.85)}{2A_p E_p} \cdot 14.85 = 0.108 \text{ m}$$

La contrafleixa vertical total de l'extrem lliure de la mènula a causa de la força de pretensat, és la suma de la contrafleixa instantània i la contrafleixa a llarg termini.

$$\bar{\delta}_{p,tot} = \bar{\delta}_{p,inst} + \bar{\delta}_{p,long-term}$$

$$\begin{aligned} \bar{\delta}_{p,inst} &= \frac{\overline{P_{ki}} \sin \alpha L^3}{3E_{c,7} I_c} + \frac{\overline{P_{ki}} \cos \alpha \cdot e_p(x=0) \cdot L^2}{2E_{c,7} I_c} - \frac{\eta_p L^4}{8E_{c,7} I_c} = \\ &= \frac{188.39 \cdot 14.85^3}{3 \cdot 29,619,000 \cdot 0.153} + \frac{11678 \cdot 0.34 \cdot 14.85^2}{2 \cdot 29,619,000 \cdot 0.153} - \frac{12.68 \cdot 14.85^4}{8 \cdot 29,619,000 \cdot 0.153} = 0.125 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\eta_p = P_{ki} e_p'' = 11,658 \cdot (-0.001088) = -12.68 \text{ kN/m}$$

$$\bar{\delta}_{p,long-term} = \varphi(\infty, 7d) \bar{\delta}_{p,inst} \frac{\overline{P_{ki}} + \overline{P_{\infty}}}{2 \cdot \overline{P_{ki}}} = 1.50 \cdot 0.125 \cdot \frac{11,680.0 + 9,806.9}{2 \cdot 11,680} = 0.172 \text{ m}$$

$$\bar{\delta}_{p,tot} = \bar{\delta}_{p,inst} + \bar{\delta}_{p,long-term} = 0.125 + 0.172 = 0.297 \text{ m}$$

- Estat límit últim de flexió (ELU) en la pitjor secció, disposant les armadures passives longitudinals necessàries.

Després de verificar l'ELS de fissura, s'ha de comprovar l'ELU de sol·licitacions normals i l'ELU tallant per saber si cal afegir armadura passiva.

ELU de sol·licitacions normals amb esforços axials (força de pretensat)

La profunditat del bloc de compressió es calcula primer per comprovar si està dins de l'ala; és a dir, si és inferior a 200 mm. Si és així, el moment últim de flexió es pot calcular de manera similar al d'una secció rectangular.

$$y = \frac{A_p f_{pyd} d_p}{U_0} = 0.328 \text{ m} > 0.20 \text{ m} = h_f$$

on  $U_0 = f_{cd} b d_p = 45,933 \text{ kN}$ ,  $d_p = 1.06 \text{ m}$ ,  $A_p = 2 \cdot 33 \cdot 140 = 9,240 \text{ mm}^2$ ,  $f_{pyd} = f_{pyk} / \gamma_p = 1770 / 1.15$

Per tant, la verificació a l'ELU s'ha de fer assumint una secció T. L'ample de la secció s'assumeix com el gruix de l'ànima  $i$ , a continuació, les ales s'assumeixen com una armadura de compressió fictícia la capacitat de la qual és igual a:

$$U_{s0} = f_{cd}(b - b_w)h_f = \frac{50}{1.5} \cdot 0.8 \cdot 0.2 \cdot 1,000 = 5,333.33 \text{ kN}$$

$$U_0 = f_{cd}b_w d_p = 17,666 \text{ kN}$$

$$y = \frac{A_p f_{pyd} d_p}{U_0} - \frac{U_{s0}}{U_0} d_p = 0.8532 - \frac{5,333}{17,666} \cdot 1.06 = 0.533 \text{ m}$$

$$M_u = (A_p f_{pyd} - U_{s0})(d_p - y/2) + U_{s0}(d_p - h_f/2) = (14,868 - 5,333.3)(1.06 - 0.533/2) + 5,333.3 \left(1.06 - \frac{0.2}{2}\right) = 12,684 \text{ kN.m}$$

$$M_d(x = 14.85 \text{ m}) = 10,855 \text{ kN.m} \leq M_u = 12,684 \text{ kN.m}$$

El moment de càlcul per la combinació ELU en la secció més desfavorable és inferior al valor últim que proporciona l'àrea de la secció transversal tenint en compte només l'armadura de pretensat.

- ELU tallant, calculant les armadures transversals necessàries.

La secció més desfavorable és la connexió amb el suport en què l'esforç tallant de càlcul, a causa de les càrregues externes, és de 1,461.98 kN. Atès que el pendent del traçat de pretensat en el suport és zero, el component de tall pretensat també és zero i l'esforç tallant de càlcul reduït és de 1,461.98 kN.

L'esforç tallant de càlcul hauria de ser inferior a l'esforç tallant últim d'esgotament de les viales de compressió,  $V_{u1}$ , i inferior a l'esforç tallant últim per tracció a l'ànima  $V_{u2}$ .

$$V_{u1} = K f_{1cd} b_0 d \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1 + \cot^2\theta} = 4,075.8 \text{ kN}$$

essent

$$f_{1cd} = 20 \text{ MPa}; K = 1.25$$

$i$

$$\sigma'_{cd} = \frac{P_{\infty}(x=14.85)}{A_c} = 11.66 \leq 0.5f_{cd}; b_0 = b_w - \eta\phi = 0.50 - 0.5 \cdot 2 \cdot 0.12 = 0.38\text{m}, \cot\theta = 1.9606, \\ d = 1.06 \text{ m}$$

Si suposem que la secció es fissura per l'ELU:

$$V_{u2,woA90} = \left[ \frac{0.18}{\gamma_c} \xi (100f_{ck}\rho)^{1/3} + 0.15\sigma'_{cd} \right] b_0 d = \\ = [0.12 \cdot 1.43 \cdot (100 \cdot 50 \cdot 0.02)^{1/3} + 0.15 \cdot 11.66] 0.38 \cdot 1.06 = 1025.32 \text{ kN}$$

on

$$\xi = 1 + \sqrt{200/d} = 1.43 < 2; \rho = A_p/b_0 d = \frac{9240}{380 \cdot 1060} = 0.0229 < 0.02$$

$$V_{u2,minwoA90} = \left[ \frac{0.075}{\gamma_c} \xi^{3/2} f_{ck}^{1/2} + 0.15\sigma'_{cd} \right] b_0 d = 949.1 \text{ kN}$$

i  $V_d \geq V_{u2,woA90}$ , es requereix una armadura transversal passiva:

$$V_{u2,wA90} = V_{cu} + V_{su}$$

$$V_{cu} = \left[ \frac{0.15}{\gamma_c} \xi (100f_{ck}\rho)^{1/3} + 0.15\sigma'_{cd} \right] b_0 d = \\ = [0.10 \cdot 1.43 \cdot (100 \cdot 50 \cdot 0.02)^{1/3} + 0.15 \cdot 11.66] 0.38 \cdot 1.06 = 971.85 \text{ kN}$$

$$V_{su} \geq V_d - V_{cu} = 1461.98 - 971.85 = 490.12 \text{ kN}$$

$$V_{su} = z \sin(\cot\alpha + \cot\theta) A_{90} f_{y90d}$$

$$A_{90} = \frac{V_{su}}{z \sin(\cot\alpha + \cot\theta) f_{y90d}} = 0.655 \text{ mm}$$

$$\text{on } z = 0.9 \cdot d = 0.954 \text{ m}$$

L'armadura transversal serà de dos estreps tancats  $\phi 12/0.30$  ( $2 \cdot 753 \text{ mm}^2/\text{mm}$ )

- Dispositius d'ancoratge, comprovant les tensions del formigó sota la placa d'ancoratge i definint l'armadura passiva necessària.

Segons el catàleg MK4, les dimensions de les plaques d'ancoratge són 444 mm × 444 mm. El traçat en la vista de la planta s'ha de modificar per poder implementar les plaques d'ancoratge, deixant un espai lliure entre elles de 100 mm. Per tant, l'espaiat entre els dos tendons de cada ànima hauria de ser de 554 mm a la zona d'ancoratge i 240 mm a la connexió de suport.

- Plànols de la geometria general de la solució i plànols de les armadures passives i actives.

La solució proposada es pot consultar detalladament a l'Annex XIV.

### C) Obtenir el pressupost del projecte de disseny

Com a exemple, es proporciona el pressupost per a la llosa i el mur de formigó, tenint en compte només el formigó, l'armadura activa i passiva, i l'encofrat; la suma final és de 195.366,16 €. Podeu trobar càlculs detallats a l'Annex XV.

PRESSUPOST							
m <sup>3</sup>	Formigó per a elements pretesats amb una mida màxima d'agregat de 20 mm						104.87 €
	<b>Descripció</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>Quantitat</b>	<b>Import</b>
	Tauler	25.8	33.38	0.70769		609.47	63,914.85 €
	Paret Intermèdia	1	25.8	1	6	154.80	16,233.88 €
<b>Quantitat total</b>						<b>764.27</b>	<b>80,148.73 €</b>
kg	Armadura interior de l'acer B500S en forma de barres corrugades amb un límit elàstic ≥ 500 N/mm <sup>2</sup>						1.16 €
	<b>Descripció</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>Quantitat</b>	<b>Import</b>
	Tauler	21.84	25.8	33.38		563.34	653.48 €
	Paret Intermèdia	40.44	25.8	6		6260.12	7,261.74 €
<b>Quantitat total</b>						<b>6823.47</b>	<b>7,915.22 €</b>
kg	Tendó de cordons per a l'armadura activa Y 1860 S7, fins a 37 cordes de 15,2 mm de diàmetre nominal en beines de menys de 70 m de longitud						1.39 €
	<b>Descripció</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>Quantitat</b>	<b>Import</b>
	Tauler	25.8	50.77	33.38	1.099	48051.21	66,791.18 €
<b>Quantitat total</b>						<b>48051.21</b>	<b>66,791.18 €</b>

PRESSUPOST							
m <sup>2</sup>	Muntatge i desmuntatge d'encofrats amb tauler de fusta de pi per a formigó exposat						34.25 €
	<b>Descripció</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>Quantitat</b>	<b>Import</b>
	Tauler	25.8	33.38			861.204	29,496.24 €
		2	25.8			51.6	1,767.30 €
		2	33.38			66.76	2,286.53 €
	Paret	1	1	6	2	12	411.00 €
		1	25.8	6	2	309.6	10,603.80 €
						<b>Quantitat total</b>	<b>1182.804</b>
						<b>Quantitat total</b>	<b>195,366.16 €</b>

### Críteris d'avaluació

Per avaluar aquesta activitat, es sol·licitarà un informe a cada grup, en el qual s'haurà de resoldre tota l'activitat. L'informe hauria d'incloure la construcció i justificació de l'índex i tots els càlculs i dibuixos esquemàtics associats a la solució proposada.

Per a l'avaluació específica de l'informe, es recomana utilitzar la rúbrica esmentada anteriorment (vegeu l'*Annex IX*), i específicament, els aspectes tècnics identificats dins de la rúbrica. D'aquesta manera, la rúbrica representa un possible instrument per facilitar l'avaluació de les activitats proposades en el seu conjunt. Com es va esmentar anteriorment, el docent és lliure d'escollir un mètode alternatiu.

## BIBLIOGRAFIA

Agencia de Ecologia Urbana de Barcelona (Barcelona's Urban Ecology Agency), Bcnecologia. 2010. "Plan de Indicadores de Sostenibilidad Urbana de Vitoria - Gazteiz (Vitoria - Gazteiz Urban Sustainability Indicators Plan)". Barcelona.

European Committee for Standardization. 2002. "Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1: General Rules and Rules for Buildings". Brussels.

Fenner, R. A., Ainger, C. M., Cruickshank, H. J., and Guthrie, P. M. 2006. "Widening Engineering Horizons: Addressing the Complexity of Sustainable Development". In Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability 159, pp 145-154.

Flores-Baquero, O., Gallego Ayala, J., Giné-Garriga, R., Jiménez-Fernández de Palencia, A., and Pérez-Foguet, A. 2016. "The Influence of the Human Rights to Water and Sanitation Normative Content in Measuring the Level of Service". Social Indicators Research. Springer Netherlands. doi:10.1007/s11205-016-1374-6.

Giné-Garriga, R., and A. Pérez-Foguet. 2010. "Improved Method to Calculate a Water Poverty Index at Local Scale". Journal of Environmental Engineering 136, 1287 – 1298. doi:10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000255.

Giné-Garriga, R., and Pérez-Foguet, A. 2013. "Unravelling the Linkages between Water, Sanitation, Hygiene and Rural Poverty: The Wash Poverty Index". Water Resources Management 27, 1501 – 1515. doi:10.1007/s11269-012-0251-6.

Jabareen, Y. 2004. "A knowledge map for describing variegated and conflict domains of sustainable development". Journal of Environmental Planning and Management 47 (4), 623 – 642. doi: 10.1080/0964056042000243267.

Ministerio de Fomento de España (Spanish Ministry of Development). 2008. "Instrucción del hormigón estructural EHE-08". Madrid.

Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., Giovannini, E., and Directorate, O.S. 2005. "Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide". OECD Statistics Working Paper. OECD, Paris.

The Royal Academy of Engineering. 2005. "Engineering for Sustainable Development: Guiding Principles". London.

United Nations. 2015. "The Millennium Development Goals Report 2015". New York.

United Nations. Sustainable Development Goals: 17 Goals to Transform Our World. Available from: <http://www.un.org/sustainabledevelopment>. [downloaded 1 October 2017].

United Nations General Assembly. 1977. Institutional Arrangements for International Co-operation in the Field of Human Settlements. Resolution A/RES/32/162.

United Nations Human Settlements Programme, UN-Habitat. 2015. "UN-Habitat Global Activities Report 2015: Increasing Synergy for Greater National Ownership". Nairobi.

United Nations Human Settlements Programme, UN-Habitat. 2016. "Urbanization and Development: Emerging Futures. World Cities Report 2016". Nairobi.



## ANNEXOS

- I. Dades del barri Vall d'Hebron < A.I\_Vall\_Hebron.pdf >
- II. Dades del barri Horta < A.II\_Horta.pdf >
- III. Dades del barri La Guineueta < A.III\_Guineueta.pdf >
- IV. Dades del barri Canyelles < A.IV\_Canyelles.pdf >
- V. Dades del barri Les Roquetes < A.V\_Roquetes.pdf >
- VI. Dades del barri Verdun < A.VI\_Verdun.pdf >
- VII. Dades del barri La Prosperitat < A.VII\_Properitat.pdf >
- VIII. Dades del barri La Trinitat Nova < A.VIII\_Trinitat\_Nova.pdf >
- IX. Rúbrica d'avaluació < A.IX\_Rubrica\_avaluacio.pdf >
- X. Exemple de cronograma del curs < A.X\_Exemple\_cronograma\_curs.pdf >
- XI. Exemple de codi ètic < A.XI\_Codi\_etica\_ASCE.pdf >
- XII. Topografia de la ciutat de Barcelona < A.XII\_Topografia.dwg >
- XIII. Càlculs detallats < A.XIII\_Calculs.xlsx >
- XIV. Solució gràfica proposta < A.XIV\_Solucio\_grafica.dwg >
- XV. Pressupost < A.XV\_Pressupost.xlsx >



**GDEE**

GLOBAL  
DIMENSION IN  
ENGINEERING  
EDUCATION

<http://www.gdee.eu>



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

**UAB**

Universitat Autònoma  
de Barcelona

Aquest projecte està finançat per:



**Ajuntament  
de Barcelona**

# Dimensionament d'una Xarxa de Distribució d'Aigua Potable a Collique (Lima): Introducció al Dret Humà a l'Aigua i al Sanejament

Helena Grau Huguet i Emeka Okpala



FOTO: "Dret il·legal". Lima. Miren Etxeberria



CASOS D'ESTUDI **Dimensionament d'una Xarxa de Distribució d'Aigua Potable a Collique (Lima): Introducció al Dret Humà a l'Aigua i al Sanejament**

**EDITAT PER**

Engineering Sciences and Global Development Research Group,  
Universitat Politècnica de Catalunya

**COORDINAT PER**

David Requejo-Castro, Ricard Giné-Garriga  
i Agustí Pérez-Foguet (*Universitat Politècnica de Catalunya*)

DL B 5492-2018  
ISBN: 978-84-697-9614-6

Aquesta obra està publicada sota  
una llicència Creative Commons  
Reconeixement - No comercial  
- CompartirIgual



Citació: Grau-Huguet, H., i Okpala, E. 2018. "Dimensionament d'una Xarxa de Distribució d'Aigua Potable a Collique (Lima): Introducció al Dret Humà a l'Aigua i al Sanejament". A Casos d'Estudi per Integrar i Promoure Problemàtiques Globals a l'Aula d'Enginyeria Civil. EScGD (eds.). Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona. Disponible a: <http://www.eduglobalstem.cat/recursos/>

Descàrrec de responsabilitat: Aquest document ha estat produït amb el suport financer de l'Ajuntament de Barcelona. El contingut d'aquest document és responsabilitat exclusiva dels autors i sota cap circumstància pot considerar-se que reflecteix la posició de l'Ajuntament de Barcelona.

# 4

## DIMENSIONAMENT D'UNA XARXA DE DISTRIBUCIÓ D'AIGUA POTABLE A COLLIQUE (LIMA): INTRODUCCIÓ AL DRET HUMÀ A L'AIGUA I AL SANEJAMENT

**Helena Grau Huguet**, Universitat Politècnica de Catalunya.

**Emeka Okpala**, Universitat Politècnica de Catalunya.

## ÍNDEX

<b>1. INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>3</b>
1.1. DISCIPLINES COBERTES .....	3
1.2. RESULTATS D'APRENENTATGE.....	4
1.3. ACTIVITATS .....	4
<b>2. DESCRIPCIÓ DEL CONTEXT</b> .....	<b>5</b>
2.1. CONTEXT GLOBAL DEL SECTOR AIGUA, SANEJAMENT I HIGIENE .....	5
2.2. DRET HUMÀ A L'AIGUA I AL SANEJAMENT .....	7
2.3. CAS D'ESTUDI: COLLIQUE (LIMA, PERÚ) .....	10
2.4. GESTIÓ DE L'AIGUA A COLLIQUE .....	13
2.5. COLLIQUE I EL DHAS .....	18
<b>3. ACTIVITAT A L' AULA</b> .....	<b>22</b>
3.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVUACIÓ.....	24
<b>4. ACTIVITAT AUTÒNOMA FORA DE L'AULA</b> .....	<b>29</b>
4.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVUACIÓ.....	34
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>42</b>
<b>ANNEXOS</b> .....	<b>44</b>

## 1. INTRODUCCIÓ

L'any 2010, l'Assemblea General de l'ONU i el Consell de Drets Humans de l'ONU van reconèixer l'aigua i el sanejament com un dret humà (DDHH). Sense cap dubte, aquesta fita representa un gran avanç en el sector aigua, sanejament i higiene (WASH, per les sigles en anglès) ja que atorga a tots els éssers humans el dret a la provisió d'uns estàndards mínims en relació a aquests serveis (Flores-Baquero, 2015).

L'Agenda 2030 per al Desenvolupament Sostenible, adoptada per l'Assemblea General de l'ONU el 2015, integra un objectiu específic per a l'aigua i el sanejament (ODS 6). Aquest Objectiu persegueix l'ambiciosa meta de "garantir la disponibilitat d'aigua i la seva gestió sostenible i el sanejament per a tots". Sens dubte, l'ODS 6 reflecteix la impregnació del dret humà a l'aigua i al sanejament (DHAS). No obstant això, encara hi ha molts milions de persones que no gaudeixen dels seus drets fonamentals d'accés a l'aigua potable i sanejament. Molts d'ells s'enfronten a importants barreres d'accés a causa del lloc on viuen i qui són. L'aigua i el sanejament per a tots no s'aconseguirà sense prestar especial atenció a les necessitats dels grups vulnerables i marginats.

Per a la realització del DHAS, es va proposar definir i incidir sobre 5 dimensions; disponibilitat, accessibilitat (física), qualitat, assequibilitat i acceptabilitat. És des d'aquest enfocament sobre el qual gira de forma més específica el present document.

Aquest cas d'estudi es centrarà en l'accés a l'aigua potable des d'un enfocament de drets humans. En aquest sentit, s'introduirà de forma breu la situació actual relativa a l'accés a aquest servei i s'aprofundirà en el significat de les dimensions del DHAS per al cas concret de l'aigua potable. En segon lloc, es realitzarà un apropament al voltant de la situació de l'accés a aquest servei en una zona periurbana de la ciutat metropolitana de Lima. Finalment, s'exposarà de forma sintètica un treball de recerca realitzat amb els habitants d'aquesta zona en relació al DHAS. Tot això compon el context del treball sobre el qual l'alumnat executarà les activitats proposades.

### 1.1. DISCIPLINES COBERTES

La distribució d'un servei d'aigua potable sol trobar-se en l'àmbit de l'enginyeria civil, normalment dins de les assignatures d'urbanisme, de serveis urbans o d'hidràulica. Amb aquest cas d'estudi es persegueix posar en pràctica diferents coneixements teòrics per al càlcul i pre-dimensionament de xarxes d'abastament d'aigua potable.

A més, el coneixement de mètodes de distribució i gestió de l'aigua no convencionals ajudarà a donar un enfocament més ampli als futurs professionals que es dediquin a la gestió de serveis municipals bàsics.

## 1.2. RESULTATS D'APRENTATGE

Com a resultat d'aquest cas d'estudi, s'espera que l'alumnat sigui capaç de:

- Pre-dimensionar una xarxa d'abastament d'aigua mitjançant fonts per a un sector urbà no convencional.
- Analitzar els impactes associats al compliment del Dret Humà a l'Aigua (DHA).
- Comprendre els diferents mètodes d'abastament d'aigua potable, així com la gestió i processos de pagament associats.
- Analitzar l'impacte dels diferents mètodes de gestió d'abastament d'aigua potable.

## 1.3. ACTIVITATS

El treball a dur a terme en aquest cas d'estudi es planteja en base a dues activitats. Una primera activitat a l'aula que, a la vegada, es subdivideix en dos blocs. El primer bloc convidarà a reflexionar sobre la importància d'accedir als serveis d'aigua. Aquesta reflexió es farà des d'un enfocament de Drets Humans. El segon bloc, en forma de "taller", té com a objectiu proporcionar els coneixements bàsics per dimensionar una xarxa de distribució d'aigua.

La segona activitat es realitzarà de forma autònoma, però en petits grups (3 o 4 persones). Aquesta activitat té com a finalitat que l'alumnat apliqui els coneixements adquirits a l'aula per dimensionar una xarxa d'abastament d'aigua de major dimensió. Així mateix, s'instarà a ampliar la reflexió anterior cap a aspectes de gestió d'aquest servei.



## 2. DESCRIPCIÓ DEL CONTEXT

En aquesta secció, s'introdueixen els conceptes bàsics associats als Objectius de Desenvolupament Sostenible i el seu monitoratge, així com les diferents dimensions del Dret Humà a l'Aigua i Sanejament. A continuació, es proporciona informació detallada sobre el context que aborda aquest cas d'estudi. Es presenten dades associades a la gestió de l'aigua i a la percepció d'un nombre d'habitants en relació a la importància relativa de les dimensions del Dret Humà a l'Aigua. Finalment, s'introdueix una possible forma de quantificar/avaluar aquesta informació.

### 2.1. CONTEXT GLOBAL DEL SECTOR AIGUA, SANEJAMENT I HIGIENE

L'any 2015, l'Assemblea General de l'ONU adopta l'Agenda 2030 per al Desenvolupament Sostenible, un pla d'acció a favor de les persones, el planeta i la prosperitat, que també té la intenció d'enfortir la pau universal i l'accés a la justícia. Aquesta agenda estableix 17 Objectius de Desenvolupament Sostenible<sup>1</sup> (ODS) i 169 metes dissenyades per ser universalment pertinents i aplicables a tots els països. Els ODS exigeixen un enfocament integrat pel que fa a les dimensions socials, econòmiques i mediambientals. Igual que en els Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni<sup>2</sup> (ODM) formulats per al període entre 2000 i 2015, els ODS integren un objectiu específic per a l'aigua i el sanejament (ODS 6).

Aquest merescut protagonisme té les seves bases en el reconeixement de l'accés a l'aigua, el sanejament i la higiene (WASH, per les sigles en anglès) com a aspectes fonamentals per al desenvolupament humà i el seu benestar (Carter et al., 1999; Cairncross & Valdmanis, 2006). Addicionalment, la millora d'aquests aspectes en llars, centres de salut, escoles i llocs de treball, complementat amb el tractament d'aigües residuals, són una forma de reduir el risc de malalties d'origen hídric, d'aconseguir una nutrició adequada i de donar suport a la educació i al treball, així com abordar aspectes com l'eradicació de la pobresa, la desigualtat de gènere i altres desigualtats (Joint Monitoring Programme, 2015; UN-Water, 2016).

El que es planteja en aquest ODS 6 és "garantir la disponibilitat d'aigua i la seva gestió sostenible i el sanejament per a tots". Per a això, s'han formulat 8 metes específiques, on 6 de les quals fan referència als resultats que es pretenen assolir i les 2 restants als mitjans de com aconseguir-los. De forma resumida, la *Taula 1* reflecteix les metes proposades.

---

<sup>1</sup> Més informació: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

<sup>2</sup> Per a més informació consultar: <http://www.un.org/es/millenniumgoals/bkgd.shtml>

**Taula 1** *Metes específiques integrades en l'Objectiu de Desenvolupament Sostenible 6.*

META	DESCRIPCIÓ
6.1	Aconseguir l'accés universal i equitatiu a l'aigua potable a un preu assequible per a tots
6.2	Aconseguir l'accés a serveis de sanejament i higiene adequats i equitatius per a tots
6.3	Millorar la qualitat de l'aigua i disminuir la contaminació
6.4	Augmentar l'ús eficient dels recursos hídrics
6.5	Implementar la gestió integrada dels recursos hídrics
6.6	Protegir i restablir els ecosistemes relacionats amb l'aigua
6.a	Ampliar la cooperació internacional
6.b	Donar suport i enfortir la participació de les comunitats locals

En aquest context, el monitoratge i l'avaluació han estat fonamentals per a la presa de decisions, ja que els governs, la societat civil i els donants necessiten dades objectives i fiables en les quals basar els mecanismes de planificació, priorització i rendició de comptes. En aquest sentit, el 1990, l'Organització Mundial de la Salut (WHO, per les sigles en anglès) i el Fons de les Nacions Unides per a la Infància (UNICEF, per les sigles en anglès) van combinar esforços amb el Programa de Monitorització Conjunt de Abastament d'Aigua i Sanejament (JMP, per les sigles en anglès), on l'objectiu principal va ser i és monitoritzar els progressos nacionals cap a la universalitat de l'accés a l'aigua i sanejament segurs. Des de llavors, el sector de l'aigua i sanejament ha experimentat una important transició en la forma d'avaluar l'accés a aquests serveis. Inicialment, s'empraven indicadors que quantificaven el mer accés a la infraestructura d'aigua o sanejament en termes de cobertura. Progressivament, el monitoratge del sector es va orientar a realitzar-se en termes més amplis de "nivell o qualitat del servei". En l'actualitat, el JMP proposa tres "escales" per monitoritzar les metes específiques 6.1 i 6.2. A la *Figura 1*, es mostren els indicadors proposats per al cas de l'accés a l'aigua<sup>3</sup>, sent aquest servei el tema el qual es centrarà aquest cas d'estudi.

---

<sup>3</sup> Per obtenir informació relativa a les "escales" de sanejament i higiene, consultar *Joint Monitoring Programme (2017)*

NIVEL DE SERVICIO	DEFINICIÓN
<b>GESTIONADO DE MANERA SEGURA</b>	Agua para consumo proveniente de una fuente de agua mejorada ubicada en la vivienda o lote, disponible cuando se necesita y libre de contaminación fecal y por químicos prioritarios
<b>BÁSICO</b>	Agua para consumo proveniente de una fuente mejorada en la medida de que el tiempo de ida, espera y vuelta para conseguir agua no sea mayor a 30 minutos
<b>LIMITADO</b>	Agua para consumo proveniente de una fuente mejorada con un tiempo de ida, espera y vuelta para conseguir agua mayor a 30 minutos
<b>NO MEJORADO</b>	Agua para consumo de un pozo excavado no protegido o de un manantial no protegido
<b>AGUA DE SUPERFICIE</b>	Agua para consumo procedente de ríos, represas, lagos, estanques, arroyos, canales o canales de riego

*Nota: Las fuentes mejoradas incluyen: agua por tubería, pozos de sondeo o pozos entubados, pozos perforados protegidos, manantiales protegidos, agua de lluvia, y agua envasada o distribuida.*



**Figura 1** Nova escala del JMP per als serveis d'aigua potable. Font: Joint Monitoring Programme, 2017.

La situació global en el 2015, tal com es plasma en el Joint Monitoring Programme (2017), reflecteix com el 71% (5,200 milions de persones) de la població mundial va utilitzar un servei d'aigua potable gestionat de manera segura, és a dir, ubicat a l'habitatge, disponible quan es necessita i lliure de contaminació. En relació a aquesta xifra, una de cada tres persones vivien en zones rurals. Per la seva banda, un 89% de la població mundial (6,500 milions de persones) van utilitzar almenys un servei bàsic, és a dir una font millorada situada, com a màxim, a 30 minuts d'anada i tornada per recollir aigua. Les xifres més preocupants, i que escenifiquen l'important repte a què s'enfronta el sector, reflecteixen que 844 milions de persones no tenien al 2015 d'un servei bàsic d'aigua potable, que 263 milions de persones necessitaven més de 30 minuts d'anar i tornar per a recollir l'aigua d'una font millorada (el que constitueix un servei d'aigua potable limitat), i que 159 milions de persones encara recol·lectaven l'aigua per a consum directament de fonts d'aigua superficials (58% d'elles residents a l'Àfrica subsahariana).

## 2.2. DRET HUMÀ A L'AIGUA I AL SANEJAMENT

Els Drets Humans són universals, inalienables, interdependents i interrelacionats. La Declaració Universal de Drets Humans estipula que "tots els éssers humans neixen lliures i iguals en dignitat i drets". Tenir accés a l'aigua potable i al sanejament és fonamental per a viure una vida digna i defensar els drets humans (United Nations and World Health Organization, 2012).

El Reconeixement del Dret Humà a l'Aigua i al Sanejament (DHAS) a través de les Resolucions de l'Assemblea General i del Consell de Drets Humans de Nacions Unides al 2010 (United Nations General Assembly, 2010a; 2010b) representa un gran avanç en el

sector WaSH ja que atorga a tots els éssers humans el dret a la provisió d'uns estàndards mínims pel que fa a aquests serveis (Flores-Baquero, 2015). Sens dubte, l'ODS 6 reflecteix la impregnació del Reconeixement de l'aigua i el Sanejament com un dret humà.

Així, el DHAS s'ha interpretat com el dret de tots a l'accés a un servei d'aigua (i sanejament) que sigui suficient, segur, accessible, culturalment acceptable i assequible per a ús personal i domèstic, i que ha de proporcionar-se d'una forma participativa, responsable i no discriminatòria (Flores-Baquero, 2015). En aquest sentit, i per a la realització d'aquest dret humà, es va proposar definir i incidir sobre 5 dimensions; disponibilitat, accessibilitat (física), qualitat, assequibilitat i acceptabilitat. Flores-Baquero (2015) realitza una síntesi descriptiva que es mostra a continuació per al cas específic de l'aigua.

### **“Disponibilitat**

El subministrament d'aigua per a cada persona ha de ser suficient i continu per a usos personals i domèstics. Aquests usos generalment inclouen el beure, la neteja personal, rentat de roba, preparació d'aliments, higiene personal i domèstica. La quantitat d'aigua disponible per a cada persona s'ha de correspondre amb les directrius de l'Organització Mundial de la Salut (OMS). Ni la continuïtat ni la quantitat exacta requerida poden determinar-se en abstracte, ja que els requisits individuals per al consum d'aigua varien, per exemple, a causa de les condicions climàtiques, el nivell d'activitat física i les condicions de salut personals.

### **Accessibilitat**

Les instal·lacions d'aigua han de ser físicament accessibles per a tothom, dins o als voltants de cada llar, institució de salut o educació, institucions públiques i lloc de treball. En moltes parts del món, els punts d'aigua solen estar a una gran distància de la llar, de manera que les persones, especialment les nenes i les dones, passen la major part del dia caminant per recollir aigua per a les seves necessitats diàries. La distància a la font d'aigua ha d'estar a l'abast de cada llar, tenint en compte les necessitats especials de certs grups i individus. La seguretat de les persones sovint es veu amenaçada en el seu camí o mentre utilitza el servei. El camí que condueix a la instal·lació o font d'aigua en si, ha de ser segur i convenient per a tots els usuaris, inclosos els nens, la gent gran, les persones amb discapacitat, les dones, incloses les dones embarassades i les persones amb malalties cròniques; la instal·lació en si hauria de ser accessible per a tots els usuaris i fàcil d'utilitzar.

## **Qualitat**

L'aigua ha de ser de tal qualitat que no representi una amenaça per a la salut humana. La transmissió de malalties d'origen hídric a través de l'aigua contaminada s'ha d'evitar. En les seves directrius per a la qualitat de l'aigua potable, l'OMS defineix l'aigua potable com l'aigua que "no representa cap risc significatiu per a la salut durant tota la vida en què es consumeix, incloses les diferents sensibilitats que poden ocórrer en les etapes de la vida". Els límits màxims proveïts en les directrius de l'OMS per a una àmplia gamma de substàncies potencialment nocives poden servir com a punt de referència.

## **Assequibilitat**

Les instal·lacions i serveis d'aigua han d'estar disponibles per al seu ús a un preu assequible per a tothom. La provisió de serveis inclou construcció, manteniment d'instal·lacions i tractament d'aigua. El pagament d'aquests serveis no ha de limitar la capacitat de les persones per adquirir altres béns i serveis bàsics detallats en els Drets Humans, com aliments, habitatge, serveis de salut i educació. La assequibilitat no requereix necessàriament que els serveis es donin de forma gratuïta. S'ha de tenir especial precaució, i garantir el procediment degut, en cas de desconexió del subministrament d'aigua a causa de la incapacitat de l'usuari per pagar. S'han de prendre mesures per garantir que aquests usuaris no quedin privats de l'accés a l'aigua potable per satisfer les seves necessitats personals i domèstiques més bàsiques.

## **Acceptabilitat**

Les perspectives poden diferir depenent de quines solucions de subministrament d'aigua són acceptables en un context donat. L'acceptabilitat és rellevant per encoratjar les persones a fer servir fonts d'aigua segura. En particular, l'aigua ha de ser d'un color, olor i sabor acceptables. La col·locació d'un punt d'aigua o la font d'aigua existent també hauria de ser acceptable per a les persones. De la mateixa manera, els aspectes culturals poden aplicar-se a les condicions d'ús d'aquestes instal·lacions."

Com s'ha exposat anteriorment, encara hi ha molts milions de persones que no gaudeixen dels seus drets fonamentals d'accés a l'aigua potable. Moltes d'elles s'enfronten a importants barreres d'accés a causa del lloc on viuen i qui són. Són dones? Pertanyen a una minoria ètnica? Són pobres? Viuen en un barri pobre o en una zona rural empobrida? Els governs tenen l'obligació de garantir l'accés a l'aigua (i sanejament) per a tots els membres de la població, ja siguin rics o pobres, homes o dones, o si viuen en assentaments

formals o informals, o en àrees rurals, urbanes o remotes (United Nations and World Health Organization, 2012).

L'aigua (i sanejament) per a tots no s'aconseguirà sense prestar especial atenció a les necessitats dels grups vulnerables i marginats. Els principis dels Drets Humans destaquen la necessitat de dissenyar activament polítiques que prioritzin i abordin les necessitats dels grups vulnerables i marginats, en lloc de tractar a totes les persones com si s'enfrontessin a desafiaments idèntics per accedir a l'aigua potable. L'accés a l'aigua per als grups vulnerables i marginats és sovint un problema d'exclusió social, no només un problema relacionat amb l'aigua (United Nations and World Health Organization, 2012).

### 2.3. CAS D'ESTUDI: COLLIQUE (LIMA, PERÚ)

Perú està dividit en tres macro regions anomenades Costa, Serra i Selva. La primera d'aquestes regions és un espai desèrtic on habita la major part de la població (INEI, 2015) i és la zona de vessants hidrogràfiques que tenen només el 2.2% del total d'aigua dolça disponible del país (ANA, 2016). Segons l'informe presentat pel Joint Monitoring Programme (2017), el 95% de la població urbana accedeix a un servei bàsic (veure escala del JMP), mentre el percentatge corresponent a la població rural es redueix al 72%. En aquest sentit, s'ha de destacar que no hi ha xifres relatives a l'accés gestionat de forma segura o xifres associades a les zones periurbanes.

La capital peruana, Lima, és la segona ciutat més gran del món situada a sobre d'un desert després del Caire. El seu territori està format per turons desèrtics, i la degradació dels rius i la sobreexplotació dels aqüífers reforcen l'escassetat del recurs (Ioris, 2016). Lima Metropolitana concentra el 30% de la població del país amb 9.904.000 d'habitants (INEI, 2015), sent difícil de precisar per l'alt nombre de barris informals (coneguts com assentaments humans) ubicats a la perifèria de la ciutat. En relació al tema central d'aquest cas d'estudi, les xifres registrades mostren una cobertura d'aigua potable del 92.7%, on el 83% de les connexions tenen mesurador, i una cobertura de sanejament del 89.4% (SUNASS, 2015).

L'alt creixement poblacional del 1.8% anual (Municipalitat Metropolitana de Lima, 2016) és degut especialment a la migració de persones amb menys recursos, la qual cosa genera una pressió addicional en les àrees de Lima que no tenen els subministraments adequats d'electricitat, aigua i sanejament (veure *Taula 2*).

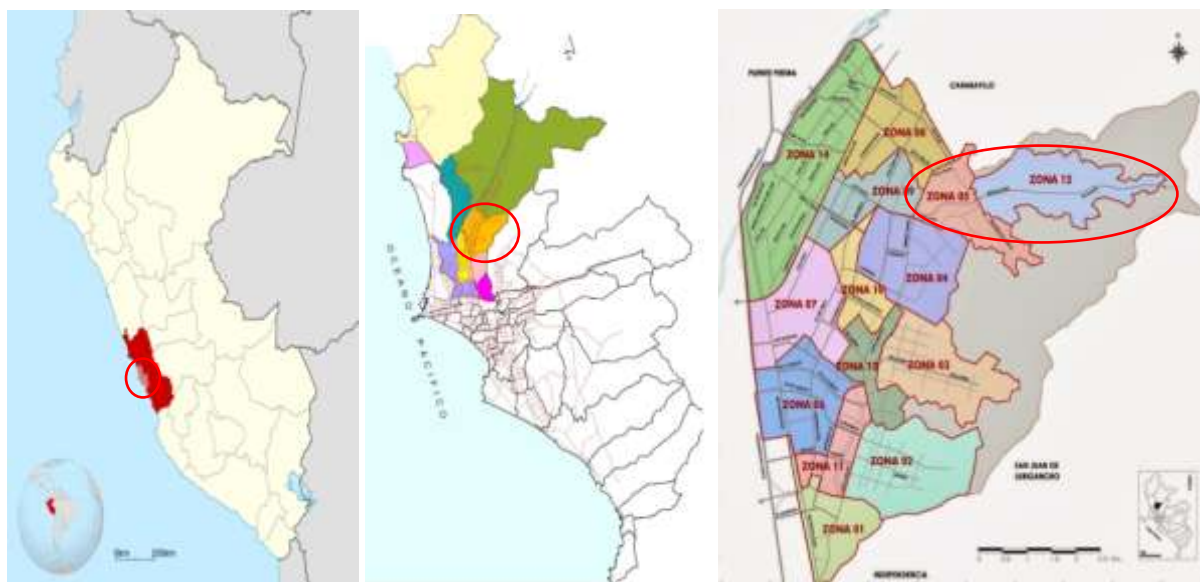


**Taula 2** Desigualtats socio-espacials en els municipis de Lima Metropolitana en qüestió d'accés d'aigua. Font: Ioris, 2016.

CONDICIÓ ECONÒMICA	NÚMERO DE LLARS	PERCENTATGE CASES AMB SERVEI D'AIGUA
Municipalitats amb ingressos alts	92,276	99.8
Municipalitats amb ingressos mitjans	184,187	77.9
Municipalitats amb ingressos baixos	712,878	68.1

## Collique

El barri de Collique forma part del districte de Comas (quart districte amb més població de Lima) i està situat al nord-est d'aquest districte.



**Figura 2** Ubicació geogràfica de la zona d'estudi<sup>4</sup>.

Es compon de 8 zones i posseeix aproximadament 116,000 habitants, encara que aquesta xifra és difícil de conèixer amb exactitud a causa de les problemàtiques amb el cens a les zones més periurbanes de la metròpoli. La mida del barri és aproximadament de 5 km<sup>2</sup> i posseeix una densitat de població de més de 23,200 hab/km<sup>2</sup>. A la *Taula 3* es presenten, a nivell comparatiu, les dades relatives a la ciutat de Lima i el districte de Comas.

<sup>4</sup> Font: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org); <https://agendalimanorte.wordpress.com/2010/04/08/%C2%BFpor-que-lima-norte/>; [http://www.agencialn.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1589:comas-es-considerado-el-distrito-mas-inseguro-de-lima&catid=43:comas&Itemid=72](http://www.agencialn.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1589:comas-es-considerado-el-distrito-mas-inseguro-de-lima&catid=43:comas&Itemid=72)

**Taula 3** Comparativa entre les localitzacions d'interès a nivell de població i superfície.

	HABITANTS	SUPERFÍCIE (km <sup>2</sup> )	DENSITAT POBLACIÓ (hab/km <sup>2</sup> )
Lima	7,605,742	2,670	2,854
Comas	525,000	48,72	11,000
Collique	116,000	5	23,200

El planejament urbà de Collique es desenvolupa a partir de l'avinguda Revolució. Aquesta avinguda recorre la part baixa de la vall en què està situat el barri i d'ella parteixen la resta de vies urbanes cap als turons. L'avinguda Revolució és l'eix central de Collique en tots els aspectes, ja que al seu voltant s'agrupen la majoria d'equipaments, connecta el barri amb la resta del districte en matèria de mobilitat i també és l'eix dels serveis urbans (entre ells, l'aigua potable i el sanejament).



**Imatge 1** Distribució del barri de Collique al voltant de l'Avinguda Revolució. Font: Google Maps.

Cal tenir en compte que a mesura que creix la distància amb l'avinguda central, disminueix l'accés als serveis urbans. Els processos d'edificació a Collique han anat més ràpid que els processos d'urbanització i això ha produït un abastament tardà de moltes zones ja construïdes. Aquesta urbanització a posteriori es va agilitzar gràcies a protestes ciutadanes. La divisió del barri en vuit àrees diferents amb certa autonomia va produir un accés desigual als serveis. L'administració de Lima proposava a aquestes zones periurbanes un copagament en la provisió dels serveis d'aigua i sanejament, en canvi molts dels barris reclamaven que els serveis fossin construïts 100% amb fons públics. Aquells districtes que van acceptar el copagament de la instal·lació van tenir el servei abans.



Un altre aspecte destacable és l'expansió dels barris que s'han realitzat als turons. Normalment, els terrenys per a les cases es construeixen dinamitant àrees de la muntanya per trencar la roca i poder produir una superfície el més plana possible. En molts casos, s'observa que amb la pedra dinamitada es construeix la fonamentació dels habitatges. En aquests sectors no solen existir carrers o són molt pocs o molt estrets, per la qual cosa limita l'accés físic a totes les llars. En definitiva, aquest creixement desigual del barri va produir la poca homogeneïtat del sistema d'abastament a Collique.



**Imatge 2** Distribució dels habitatges al barri de Collique.

## 2.4. GESTIÓ DE L'AIGUA A COLLIQUE

La distribució de la xarxa d'aigua potable, així com la seva gestió, són fonamentals per a garantir un correcte nivell de servei a la població. La infraestructura i el servei de l'aigua potable a Lima estan principalment a càrrec de l'empresa pública SEDAPAL (Servei Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima). No obstant això, al barri de Collique es poden trobar 4 formes diferents d'abastament, les quals s'exposen a continuació.

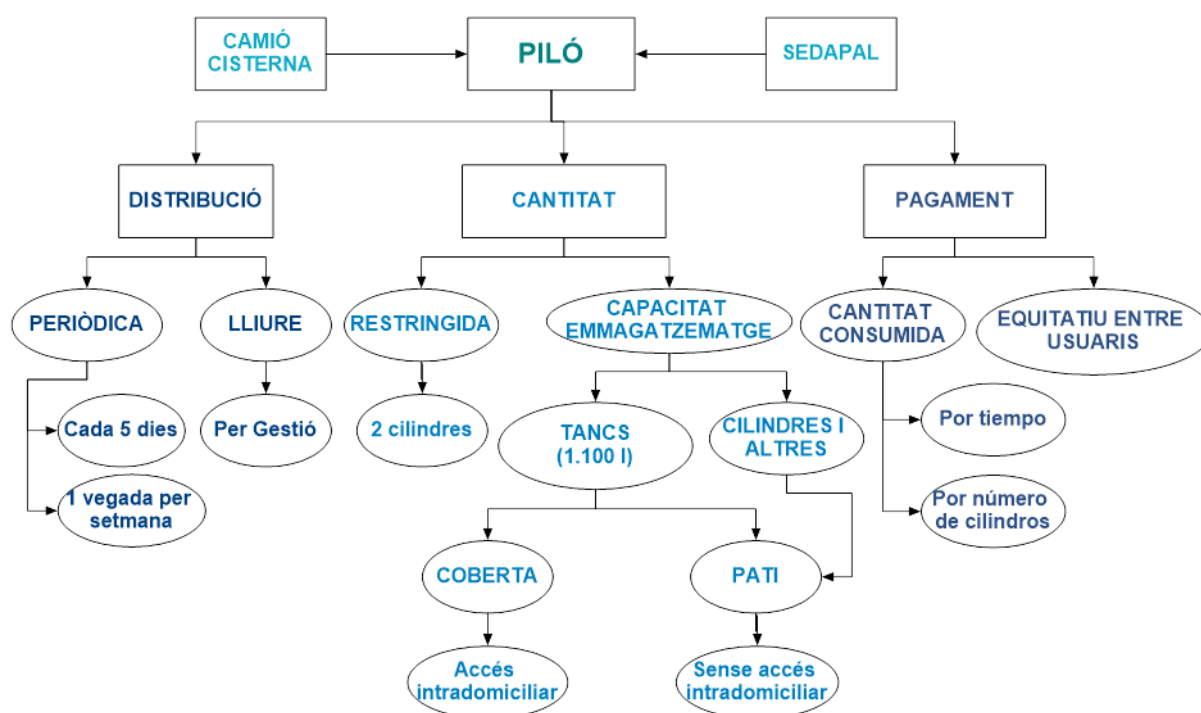
### **Piló comunitari**

El piló comunitari (o font comunitària) és una de les formes més comunes d'abastament a la zona dels turons on s'ubiquen principalment els assentaments humans. Aquests sistemes han estat construïts i finançats per ONGs, les quals han capacitat a la població en la seva organització per al bon funcionament (creació del comitè del piló).

El funcionament del piló consisteix en emmagatzemar l'aigua en un tanc, que pot ser proveït tant per camió cisterna com per la xarxa de SEDAPAL (veure *Figura 3*). Aquest tanc distribueix l'aigua a través de canonades fins als pilons (punts d'accés a l'aigua), repartits generalment a cada quadra (illa de cases), i on es connecta una mànega per apropar el punt d'aigua als llocs d'emmagatzematge de les cases. La distribució d'aigua pot ser periòdica (cada "x" dies), o lliure, la qual cosa vol dir que hi ha la possibilitat de proveir quan

hi hagi la necessitat. La quantitat en cas de no ser restringida depèn de la capacitat d'emmagatzematge de cada llar, i si els dipòsits d'emmagatzematge s'ubiquen al sostre afavoreix la possibilitat de tenir connexió intradomiliar.

El preu del servei està determinat pel tipus d'abastiment del tanc distribuïdor. En el cas de ser per camió cisterna resulta més costós, per tractar-se d'un servei privat, que per SEDAPAL. La forma de pagament del piló depèn de l'organització de cada comitè i aquest pot ser equitatiu entre usuaris (preu total dividit per nombre d'usuaris) o per quantitat consumida.



**Figura 3** Esquema de la distribució per piló comunitari a Collique.

Al tractar-se d'un sistema comunitari, la gestió del piló a través del seu comitè, és un factor determinant per assegurar un bon nivell de servei per a tots els usuaris. S'ha observat que la majoria dels comitès cobren un preu una mica més elevat del que realment els costa l'aigua per tenir uns fons de reserva per al manteniment de les instal·lacions o per al pagament de l'electricitat de les bombes que alguns necessiten. Per exemple, a la setena zona de Collique, el camió cisterna ven la "tancada" a 130 sols<sup>5</sup> (12 m<sup>3</sup> que equivalen a 60 cilindres), de manera que el preu del cilindre és de 2.16 sols (el comitè cobra el preu del cilindre a 2.30 per pagar la factura d'electricitat de la bomba i el manteniment del sistema).

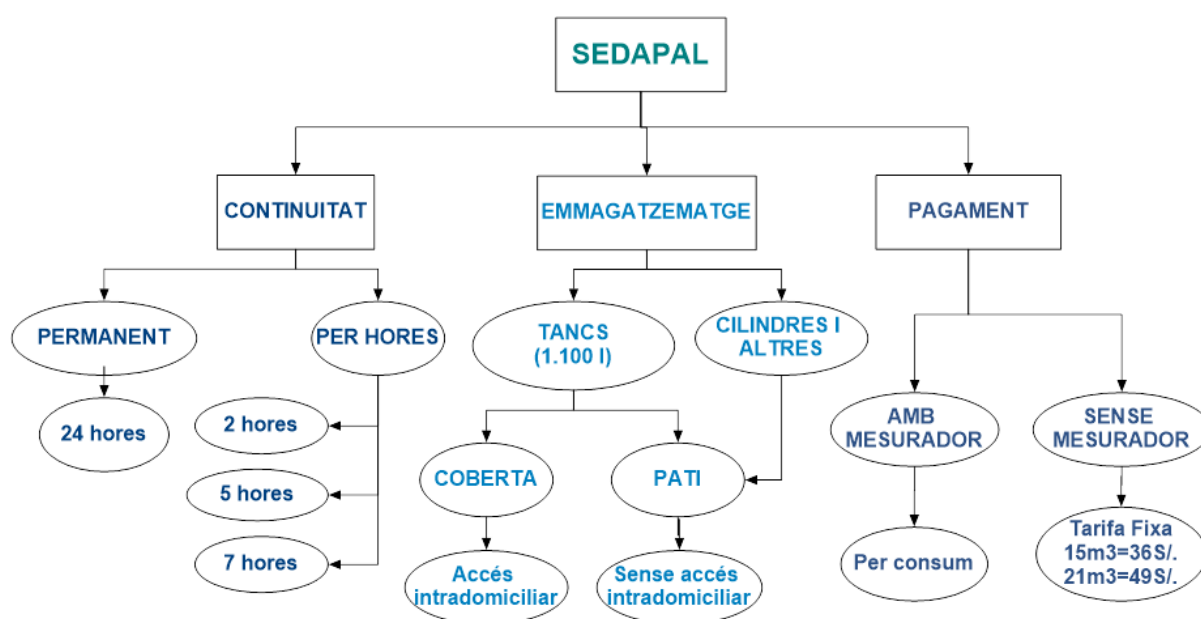
<sup>5</sup> El Sol (S /) és la unitat monetària de curs legal a Perú des de 1991. Inicialment denominada Nou Sol (S /.), des de l'any 2015 el govern va disposar que passés a denominar-se simplement "Sol (S /)", suprimint a més l'ús del punt (S /.) en el signe monetari. 1 S/ equival a 0.25 euros (€) i a 0.31 dòlars nord-americans (US \$).

En canvi, a la vuitena zona, on els pilons són abastits per la xarxa SEDAPAL, el preu per cilindre és de 0.5 sols. En un inici es cobrava això als usuaris fins que el comitè, juntament amb els usuaris, va decidir augmentar el preu a 1 sol per recaptar fons per al manteniment. Alguns comitès són transparents pel que fa als seus comptes, coneixent els seus usuaris l'estat dels fons de reserva i per a què s'utilitzen, però d'altres no.

## Xarxa SEDAPAL

La forma d'abastament més generalitzada a Collique és la connexió a la xarxa de SEDAPAL, trobant-se el major nombre d'usuaris connectats a la xarxa prop de l'avinguda principal. Com es demostra a la *Figura 4*, tot i estar connectats a la xarxa, no es pot assegurar un servei permanent les 24 hores, ja que hi ha zones on la distribució arriba a ser de dues hores diàries i en diferents horaris, no necessàriament els més convenients.

La quantitat d'aigua depèn de la capacitat d'emmagatzematge de cada llar i de la pressió de la xarxa. Igual que en el cas del piló, l'accés intradomiciliari depèn de la infraestructura (tanc a la coberta i bomba en cas de poca pressió) i per tant dels recursos econòmics.



**Figura 4** Esquema de la distribució a través de la xarxa de SEDAPAL.

Aquest tipus d'abastament és el més econòmic sempre que es compti amb un mesurador (pagament per consum). En cas contrari, el preu pot arribar a ser perjudicial si el consum és baix i es cobra per tarifa fixa (preu constant sense importar el consum), o beneficiós si el consum real és més gran que el consum facturat (cas observat en famílies nombroses).

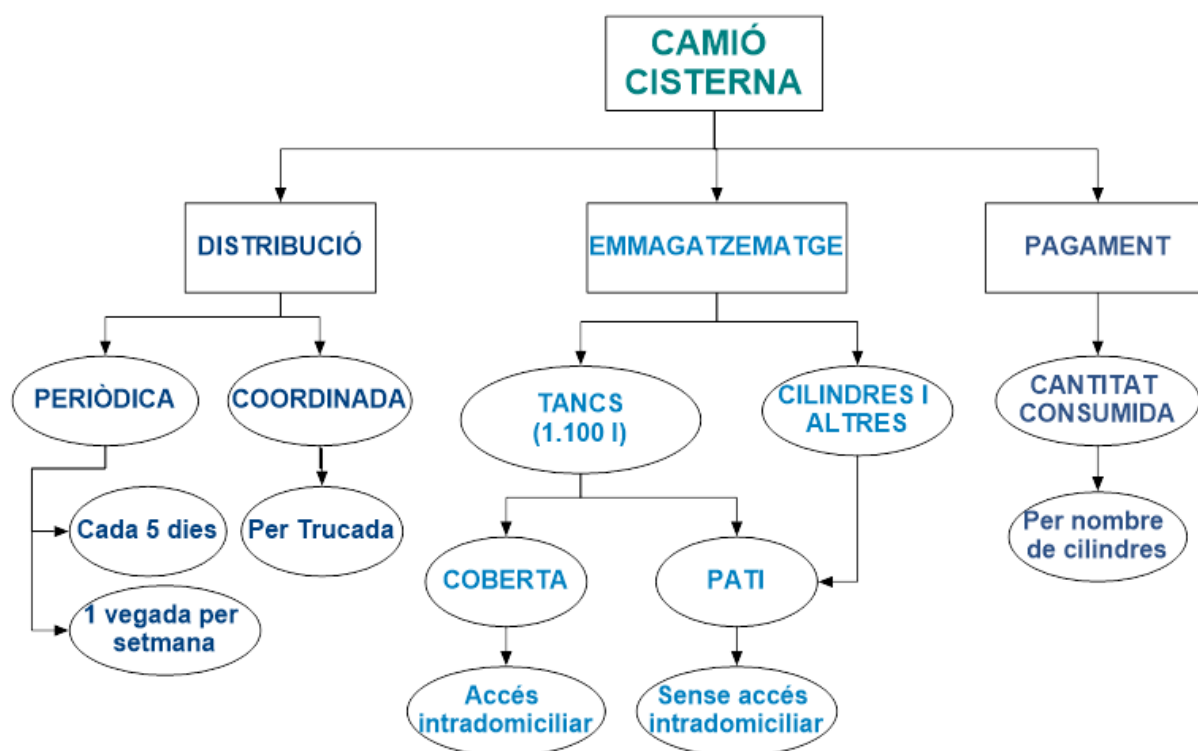
Com a exemples, a la primera zona, on els arriba una tarifa fixa per no disposar de mesurador, paguen 49 sols que equivalen a 21 m<sup>3</sup> i tenen 7 hores d'aigua al dia, mentre que

a la cinquena zona on tampoc tenen mesurador, els arriba una tarifa fixa de 36 sols que equival a 15m<sup>3</sup> i tenen 2 hores de servei al dia.

### Camió cisterna

El camió cisterna a la zona de Collique és un tipus de proveïment que ha anat a la baixa, per l'augment de la cobertura de la xarxa de SEDAPAL i de formes alternatives d'abastament com és el piló comunitari.

El camió cisterna transporta l'aigua recollida de sortidors de la SEDAPAL que garanteixen la "qualitat" d'aquesta o de sortidors clandestins que no permeten conèixer la procedència de l'aigua. Aquest servei sol ser de particulars que fan negoci de la distribució de l'aigua, de manera coordinada o periòdica (veure *Figura 5*), als llocs on no hi ha altres formes d'abastament.



**Figura 5** Esquema de la distribució a través de camions cisterna.

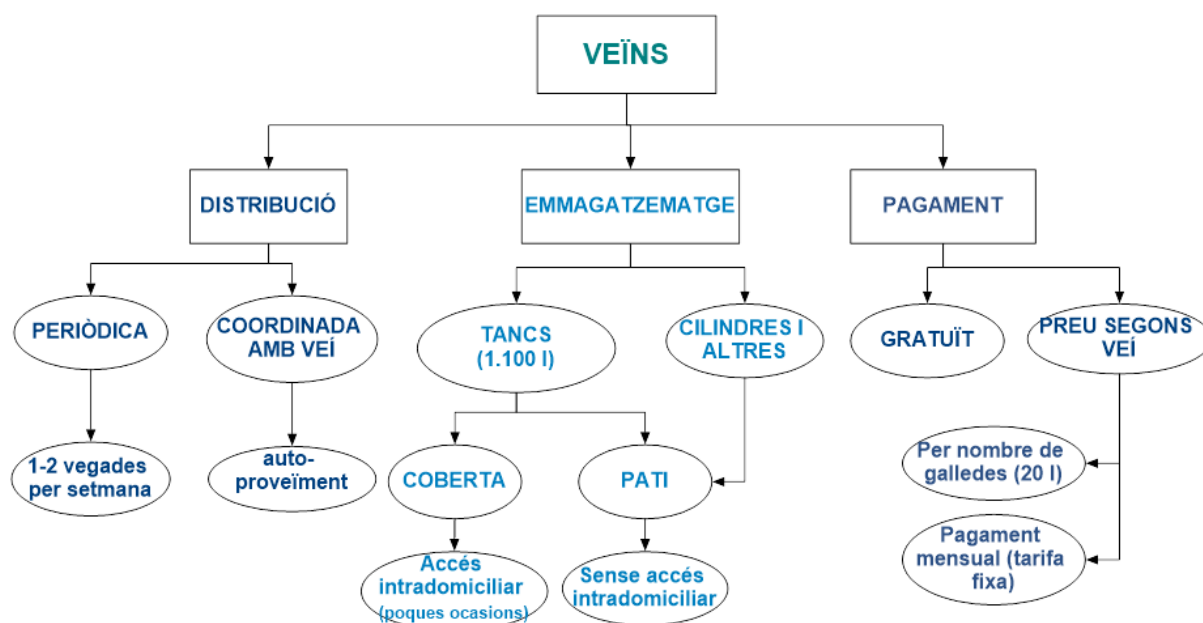
El camió cisterna principalment proveeix als tancs d'emmagatzematge dels pilons, cobrant per la "tancada" des de 120 sols (a la cinquena zona) fins a 160 sols (a la vuitena zona), depenent d'on hagi d'arribar.

El cost d'aigua venuda directament als particulars es cobra més car per trigar més temps en distribuir l'aigua, arribant a pagar 4.20 sols pel cilindre (200 litres), el que significa un preu de més de 16 vegades el preu de la SEDAPAL.

## Veïns

Aquesta és una forma d'abastament que sorgeix per la impossibilitat de proveir aigua a través de les altres formes presentades anteriorment. La raó principal per proveir-se dels veïns és per la inexistència d'una via de comunicació que arribi a les llars sense aigua, ja sigui per la pendent del terreny o l'alta densitat de cases, que no permeten l'arribada dels camions cisterna a través d'una carretera.

De vegades es donen casos en què prop d'aquestes llars sense aigua hi pot haver pilons. Per a aquests casos, normalment es parla amb el comitè de les pilones i se'ls permet usar-los sempre que paguin la quota i ells instal·lin la bomba i mànega necessària per fer arribar l'aigua a casa seva. Però quan això no passa, s'ha de demanar als veïns que sí disposen d'aigua (normalment els que estan connectats a la xarxa) que els regalin o vinguin aigua.



**Figura 6** Esquema de la distribució a través dels veïns del barri de Collique.

Per al cas de Collique, on la major part de les llars que estan connectades a la xarxa paga una tarifa fixa, no suposa cap despesa regalar l'aigua, però es dona el cas de persones que fan negoci venent una aigua que no paguen.

Les formes d'emmagatzematge són les mateixes que per als altres casos (piló, SEDAPAL o camió cisterna) i suposen els mateixos avantatges i desavantatges segons on es pugui guardar l'aigua. Encara que per aquest cas, en no disposar d'aigua, les llars no solen disposar d'instal·lacions intradomiciliars. Respecte al preu, aquesta és la forma en què les persones poden arribar a pagar més per l'aigua. Al ser la seva única forma de poder proveir-se, estan subjectes al preu que sigui.

## Resum

Para facilitar la comparación entre los sistemas de gestión presentados, en la *Taula 4* se detallan de forma resumida algunos de los aspectos más destacables.

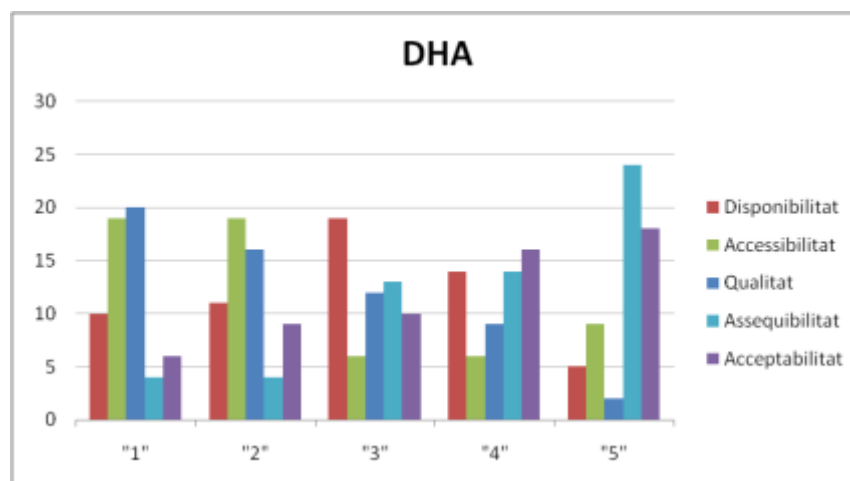
**Taula 4** Comparativa entre els diferents sistemes de gestió d'aigua.

SISTEMA DE GESTIÓ	PREU (S) / CILINDRE	OBSERVACIONS
Piló Comunitari	Camió cisterna: 2.16 (preu final 2.30) SEDAPAL: 0.5 (preu final 1)	- Càrrec extra per part del comitè comunitari (gestió comunitària) - Disponibilitat d'aigua variable
SEDAPAL	0.48	- Major qualitat d'aigua - Disponibilitat d'aigua variable
Camió cisterna	A piló comunitari: 2 - 2.67 A particular: 4.20	- Incertesa pel que fa a qualitat - Disponibilitat d'aigua variable
Veïns	Preu variable (opció més costosa)	- Major dificultat per disposar d'aigua

## 2.5. COLLIQUE I EL DHAS

De forma molt breu, es desitja finalitzar aquesta contextualització exposant un treball d'investigació realitzat amb un nombre d'habitants de Collique. Aquest treball perseguia obtenir informació de totes les zones de Collique a través de l'opinió de diferents grups de la població (nens, joves i dones), per alimentar una proposta d'indicadors que mesurés el nivell de servei d'aigua des de l'enfocament de les cinc dimensions del DHAS.

Per assolir aquest objectiu, es van realitzar un seguit de tallers participatius, seleccionant diferents grups d'edats de la població (nens, joves i dones). Així, es va poder obtenir una anàlisi qualitativa sobre la percepció dels participants en relació als serveis d'aigua (i sanejament). Els resultats d'aquests tallers, van resultar en 59 priorititzacions individuals en relació a les dimensions del Dret Humà a l'Aigua (DHA).



**Figura 7** Respostes en relació a la prioritització de les 5 dimensions del DHA. A l'eix d'abscisses es representen l'ordre de prioritats. A l'eix d'ordenades, el nombre d'ocasions que cada dimensió va ser prioritzada en cada posició.

Com a resultat, l'ordre de les dimensions per part dels participants va quedar de la següent manera:

**Taula 5** Ordenació de les dimensions associades al Dret Humà a l'Aigua.

Priorització per al DHA				
1	2	3	4	5
Qualitat	Accessibilitat	Disponibilitat	Acceptabilitat	Assequibilitat

A partir d'aquesta recerca qualitativa i una revisió de la literatura, es planteja un índex multidimensional compost per les cinc dimensions del DHA. Per a cada dimensió s'han definit cinc nivells de servei amb cinc valors, sent l'1 i el 0 el més i el menys òptim, passant per 0.75, 0.5 i 0.25. Aquest índex, encara que està aplicat per al cas específic de Collique, podria servir de base per a realitzar la mateixa valoració multidimensional en qualsevol context i així poder realitzar qualsevol comparació que s'estimi oportuna.

En les *Taules 6 i 7* es defineix el concepte de cada categoria i els seus diferents nivells de servei, respectivament.

**Taula 6** Definició dels nivells de servei per a les cinc dimensions del DHA.

Definició categories DHA. Nivell del servei d'aigua				
Disponibilitat (DIS)	Accessibilitat (ACC)	Qualitat (QUA)	Assequibilitat (ASQ)	Acceptabilitat (ACP)
Aigua suficient i en continuïtat	Aigua prop i fàcil d'obtenir	Aigua apta per al consum humà	Aigua assequible per a tots	Aigua acceptada en color, olor i sabor



Taula 7 Proposta dels nivells de servei per a les cinc dimensions del DHA.

Proposta marc conceptual per al DHA. Nivell del servei d'aigua					
Nivell	Disponibilitat (DIS)	Accesibilitat (ACC)	Qualitat (QUA)	Assequibilitat (ASQ)	Acceptabilitat (ACP)
1	Servei domiciliari les 24 hores	Servei domiciliari amb instal·lacions intradomiliars en ús (B)	Servei domiciliari o per piló (proveït per la xarxa) on l'aigua és apta per al consum humà i es realitza una neteja adequada i freqüent dels recipients d'emmagatzematge	Tarifa de l'EPS (Empresa Prestadora de Servei, SEDAPAL) segons consum o tarifa fixa (sense mesurador), la qual és justa i assequible segons les possibilitats econòmiques (G)	Aigua amb aspecte a les deus (manantials) de les muntanyes: transparent, sense pudor ni gust de clor
0.75	Servei domiciliari de menys de 24 hores a 7h de continuïtat amb capacitat suficient d'emmagatzematge (A)	Servei domiciliari sense instal·lació intradomiliari (C)	Servei domiciliari o per piló (proveït per la xarxa) on es bull l'aigua abans de consumir (D)	Tarifa de l'EPS segons consum o tarifa fixa (sense mesurador), la qual representa una part important de les despeses per serveis bàsics	Aigua transparent però amb poc gust de clor
0.50	Servei domiciliari de 7h a 2h, o proveïment per piló, camió cisterna o altres (veïns), amb capacitat suficient d'emmagatzematge	Servei per piló o camió cisterna, amb tancs d'emmagatzematge al sostre i amb instal·lació intradomiliari	Servei per piló (proveït per camió cisterna) o camió cisterna de sortidors de la SEDAPAL (I)	Pagament per cilindre procedent del piló (10-15 vegades més que el preu de l'EPS)	Aigua de color blanquinós i amb molt gust de clor
0.25	Servei domiciliari de 7h a 2h o proveïment per piló, camió cisterna o altres (veïns), sense capacitat suficient d'emmagatzematge	Servei per piló o camió cisterna o altres (veïns) sense instal·lació intradomiliari	Servei per piló (proveït per camió cisterna) o per camió cisterna de sortidors clandestins o servei on l'aigua apareix tèrbola o amb elements estranys (F)	Pagament per cilindre procedent de camió cisterna o altres (veïns) (15-40 vegades més que el preu de l'EPS)	Aigua tèrbola o amb elements estranys
0	Abastament en aigües superficials (rius, sèquies ..)				

A. Capacitat suficient d'emmagatzematge fa referència al fet que es disposa de suficient espai per emmagatzemar l'aigua necessària per a realitzar les activitats diàries de tota la família.

B. Instal·lacions intradomiliars en ús vol dir o que es disposa d'un servei continu les 24 hores o que es disposen de tancs d'emmagatzematge al teulat que permeten utilitzar l'aigua a través de l'aixeta.

C. Sense instal·lació intradomiliari vol dir que no hi ha la infraestructura o que aquesta no s'utilitza perquè no hi ha continuïtat del servei les 24 hores o no es disposen de tancs d'emmagatzematge al teulat que permetin el seu ús.



D. El fet bullir l'aigua abans de consumir-la es deu a la dubtosa qualitat que pot tenir ja sigui pels talls de la xarxa, o pel desconeixement de si les mesures d'higiene en el manteniment de la xarxa i els tancs de distribució són les correctes o no.

E. La higiene dels camions cisterna depèn de la cura i manteniment que li dóna el propietari. Moltes vegades no és l'adequada. Si el camió cisterna s'abasteix dels sortidors de SEDAPAL, l'aigua prové de la planta de tractament d'aigua potable i aquesta es recull amb prou clor residual perquè arribi a les cases amb 0.5mg/l de clor residual.

F. L'aigua de la xarxa de Collique es bombeja a diferents tancs repartits per la zona i aquests distribueixen l'aigua a les cases. Si no es realitza un manteniment adequat dels tancs, com que no es disposa d'aigua les 24h, en reprendre el servei pot ser que l'aigua surti tèrbola o amb brutícia a les cases.

G. Dins assequibilitat s'inclou el poder pagar la construcció de les instal·lacions i equipaments intradomiliars o rebre subsidis si són necessaris.

Després de la presentació del marc conceptual, s'ha de destacar que les cinc dimensions no s'agreguen per igual. A cada dimensió se li assigna un pes específic segons la prioritització presentada a la *Taula 5*. De la mateixa manera, és important ressaltar que els principis dels Drets Humans apunten a la importància de valorar totes les categories per igual. En aquest cas, no es pretén menystenir cap dimensió, sinó proposar un marc conceptual que reflecteixi les necessitats específiques d'aquesta zona.

Per a la definició dels pesos, s'utilitza la metodologia anomenada "centroid" (Shepetukha & Olson, 2001), la qual proposa definir els pesos un cop es té l'ordre de les categories. Aquesta metodologia assigna el pes  $w_1$  com el més important, el  $w_2$  com el segon més important i així per  $k$  categories.

$$w_1 = \frac{(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{k})}{k}$$

$$w_2 = \frac{(0 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{k})}{k}$$

$$w_k = \frac{(0 + 0 + 0 + \dots + \frac{1}{k})}{k}$$

La suma d'aquests pesos serà igual a la unitat. Com més categories hi hagi menor serà l'error que implica aquesta aproximació (Shepetukha & Olson, 2001). Per al cas de cinc categories, corresponents a les cinc dimensions del DHAS, s'obtenen els següents pesos:

**Taula 8** Pesos ordenats per al DHA segons la metodologia proposada.

Qualitat (QUA)	Accessibilitat (ACC)	Disponibilitat (DIS)	Acceptabilitat (ACP)	Assequibilitat (ASQ)
$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
0.45	0.26	0.16	0.09	0.04

Finalment es formula l'índex multidimensional sobre la base de la mitjana geomètrica (o multiplicativa) de les diferents dimensions. És de gran importància tenir present que aquesta formulació no permet la compensació entre les variables. És a dir, si alguna de les dimensions s'avalua com un zero, el valor final de l'índex serà zero també.

$$\text{Índex}_{\text{DHA}} = \text{QUA}^{W_1} \times \text{ACC}^{W_2} \times \text{DIS}^{W_3} \times \text{ACP}^{W_4} \times \text{ASQ}^{W_5}$$

Substituint tant els valors del nivell de servei associats a la realitat de Collique com els valors dels pesos, s'obté el valor final de l'índex proposat:

$$\text{Índex}_{\text{DHA}} = 0.5^{0.45} \times 0.25^{0.26} \times 0.25^{0.16} \times 0.5^{0.09} \times 0.25^{0.04} = 0.37$$

### 3. ACTIVITAT A L' AULA

L'activitat a l'aula proposada en aquest cas d'estudi s'estructura en dos blocs diferents:

**Bloc I.** Es treballarà en petits grups de 3 o 4 persones, per després fer una posada en comú. La durada d'aquesta activitat s'estima en d'1 hora i 15 minuts; 45 minuts de discussió en grup i 30 minuts de discussió general. Es suggereix que el docent actuï de moderador.

Per facilitar el desenvolupament d'aquest bloc i de les successives activitats, es recomana que l'alumnat disposi de tota la informació exposada en la secció 2 del cas d'estudi. Idealment, es recomana facilitar la contextualització del cas d'estudi amb anterioritat al desenvolupament de les activitats amb la finalitat de proporcionar un temps adequat per a la seva lectura.

**Bloc II.** Es tracta d'un taller guiat pel docent, en què el treball serà individual per part de l'alumnat. S'estima que la durada d'aquest bloc és de 45 minuts. Específicament, el taller consisteix en proporcionar a l'alumnat la informació suficient per a realitzar el dimensionament d'una petita xarxa d'abastament d'aigua. L'objectiu és poder escalar aquest disseny a una àrea gran (activitat fora de l'aula).

## BLOC I

Rànquing	DIMENSIÓ (privació)	IMPACTES DIRECTES	IMPACTES INDIRECTES
	<b>Disponibilitat</b>		
	<b>Accessibilitat</b>		
	<b>Qualitat</b>		
	<b>Assequibilitat</b>		
	<b>Acceptabilitat</b>		

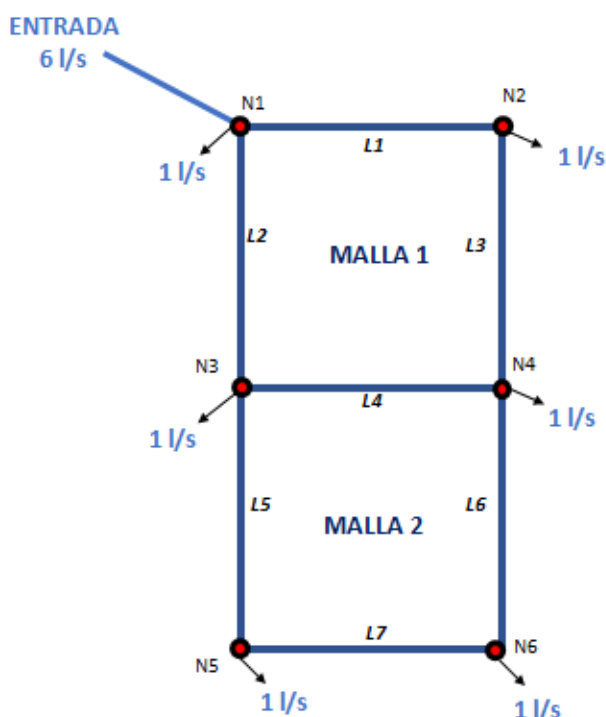
L'objectiu d'aquesta primera activitat persegueix sensibilitzar i conscienciar sobre la importància que implica accedir als serveis d'aigua. Aquest exercici es realitzarà des d'un enfocament de Drets Humans. En aquest sentit, i després d'haver presentat el contingut teòric d'aquest cas d'estudi, es proposa emplenar la taula adjunta indicant els impactes directes i indirectes associats a la privació de les dimensions del Dret Humà a l'Aigua (DHA). Els impactes es poden identificar des de diferents perspectives com la salut, el desenvolupament o el medi ambient, entre d'altres. Així mateix, s'insta a cada grup a assenyalar i justificar la dimensió que consideren més important. Finalment, i d'acord amb la situació actual de Collique (nivell de servei) i amb la prioritització realitzada, es proposa recalculer el ÍndexDHA proposat.

## BLOC II

L'objectiu d'aquest taller guiat rau en proporcionar a l'alumnat un exemple il·lustratiu relatiu al dimensionament d'una petita xarxa d'abastament d'aigua. Així, es podrà abordar l'activitat fora de l'aula de manera autònoma.

El plantejament d'aquest taller serà a nivell individual. En aquest sentit, s'espera que l'alumnat sigui capaç de seguir i materialitzar els càlculs pertinents exposats pel docent. L'enunciat i dades de partida serien els següents:

Al barri de Collique es vol dimensionar una xarxa de distribució d'aigua potable que abasta dues illes de 200 m x 200 m. L'entrada d'aigua que alimenta a les malles es troba situada a 20 m per sobre dels nodes 1 i 2. A cada un dels nodes hi ha un hidrant amb una demanda punta d'1 l/s, de manera que el consum de la malla és de 6 l/s. A més, tots els trams estan formats per canonades iguals de 90 mm de diàmetre exterior. Les malles que conformen la xarxa són quadrades i iguals tal com es mostra en la següent figura:



Nodes	Altura
N1	20
N2	20
N3	10
N4	10
N5	0
N6	0

Trams	Longitud
L1	200 m
L2	200 m
L3	200 m
L4	200 m
L5	200 m
L6	200 m
L7	200 m

Amb aquestes dades de partida, s'ha de calcular el flux intern de la malla i la pressió que tindrà cada hidrant tenint en compte la pèrdua de pressió del tram de canonada.

### 3.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVUACIÓ

#### Solució Bloc I

En primer lloc, s'ha de tenir en compte que les respostes que poden tenir lloc són obertes, sobretot en la proposta de prioritització de les diferents dimensions del DHA. En cap cas, s'ha d'esperar per part de l'alumnat (possiblement inexpert en el tema) que encerti amb les seves reflexions. El simple fet de reflexionar és un dels objectius de l'activitat. No obstant això, es presenten algunes possibles respostes per tal de guiar el docent (moderador) en la posada en comú final.

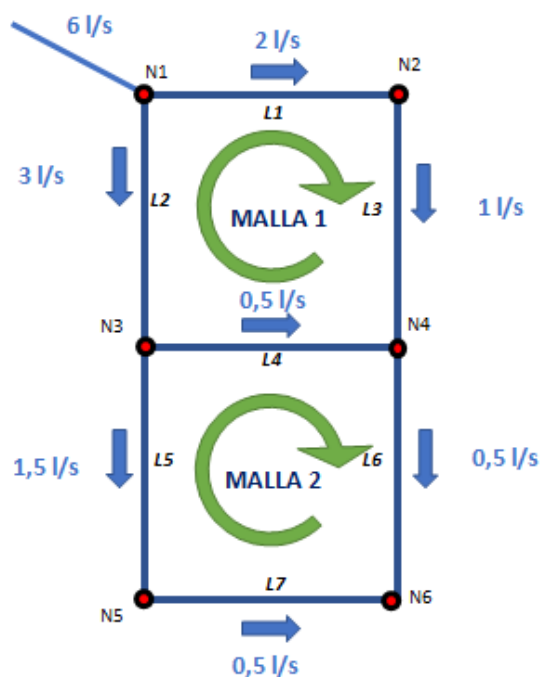
DIMENSIÓ (privació)	IMPACTES DIRECTES	IMPACTES INDIRECTES
<b>Disponibilitat</b>	- No es poden satisfer les necessitats quan es necessita (beure i cuinar, higiene, rentar aliments i roba)	- Inversió econòmica en dipòsits domiciliars, per exemple, per a l'emmagatzematge
<b>Accessibilitat</b>	- No es pot garantir el consum d'aigua necessari, en el cas que la font es trobi molt lluny (beure i cuinar, higiene, rentar aliments i roba) - Increment de la inseguretat (sobretot quan dones i nenes recullen aigua i quan les distàncies són grans)	- Dificultat per al desenvolupament d'activitats vitals i econòmiques  - Possibilitat d'augmentar les agressions a nenes i dones
<b>Qualitat</b>	- Afectació a la salut humana (fins i tot mort) - Deteriorament ecosistemes (contaminació)	Dificultat per desenvolupar capacitats (augment de pobresa); Augment en la despesa destinada a la salut Disminució de recursos per a la subsistència (disminució de la seguretat alimentària i augment de la pobresa)
<b>Assequibilitat</b>	- Discriminació sobre els sectors de la població més desfavorables - Possible generació de conflictes socials	- Dificultat per accedir a altres serveis; Increment de la bretxa entre els que més tenen i els que menys - Augment de la bretxa entre institucions públiques o agents responsables de la gestió del servei; Disminució de la participació ciutadana
<b>Acceptabilitat</b>	- Recerca de fonts d'aigua alternatives (possible sinònim de risc per a la salut)	- Augment de la despesa a nivell de llar i de sanitat pública

Pel que fa a l'elaboració del rànquing i l'obtenció del nou índex, s'espera que cada grup pugui plantejar el seu resultat. Per tant, no es facilita cap possible resposta en aquest apartat.

## Solució Bloc II

En primer lloc, cal plantejar una distribució del flux interior a la malla que compleixi amb les demandes de cada hidrant. D'aquesta manera, s'estableix un sentit de circulació de la malla per identificar el signe (positiu o negatiu) dels cabals en cada tram. El procediment detallat es mostra a l'*Annex II*.

Adicionalment, es realitzaran les iteracions necessàries per obtenir un residu ( $\Delta Q$ ) de zero. En aquest cas, serà suficient amb 2 i 3 iteracions, corresponents a la malla 1 i malla 2 respectivament.



Malla 1

DADES DE PARTIDA						
Tram	D <sub>ext</sub> (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	L (m)	C	r <sub>i</sub> (mm)	Q <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /s)
L1	90	73.6	200	150	65,313.9	0.0020
L2	90	73.6	200	150	65,313.9	-0.0030
L3	90	73.6	200	150	65,313.9	0.0010
L4*	90	73.6	200	150	65,313.9	0.0005

ITERACIÓ 1		
Δh	Δh/Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub> = Q <sub>1</sub> + ΔQ
0.66	327.70	0.0023
-1.39	462.93	-0.0027
0.18	181.55	0.0013
-0.05	100.58	-0.0005
ΣΔh	Σ(Δh/Q <sub>i</sub> )	ΔQ
-0.6	1,072.77	0.0003

ITERACIÓ 2		
Δh	Δh/Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub> = Q <sub>2</sub> + ΔQ
0.851	369.56	0.0023
-1.140	422.77	-0.0027
0.296	227.49	0.0013
-0.054	104.07	-0.0006
ΣΔh	Σ(Δh/Q <sub>i</sub> )	ΔQ
-0.047	1,123.90	0.0000

Malla 2

DADES DE PARTIDA						
Tram	D <sub>ext</sub> (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	L (m)	C	r <sub>i</sub> (mm)	Q <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /s)
L4*	90	73.6	200	150	65,313.9	0.0005
L5	90	73.6	200	150	65,313.9	-0.0015
L6	90	73.6	200	150	65,313.9	0.0005
L7	90	73.6	200	150	65,313.9	-0.0005

ITERACIÓ 1			ITERACIÓ 2			ITERACIÓ 3		
Δh	Δh/Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub> = Q <sub>1</sub> + ΔQ	Δh	Δh/Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub> = Q <sub>2</sub> + ΔQ	Δh	Δh/Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub> = Q <sub>3</sub> + ΔQ
0.05	100.58	0.0005	0.0005	0.054	104.07	0,065	113,18	0,0006
-0.38	256.47	-0.0012	-0.0012	-0.245	208.53	-0,217	196,94	-0,0011
0.05	100.58	0.0008	0.0008	0.127	153.86	0,149	165,93	0,0009
-0.05	100.58	-0.0002	-0.0002	-0.007	41.43	-0,003	25,57	-0,0001
<b>ΣΔh</b>	<b>Σ(Δh/Q<sub>i</sub>)</b>	<b>ΔQ</b>	<b>ΣΔh</b>	<b>Σ(Δh/Q<sub>i</sub>)</b>	<b>ΔQ</b>	<b>ΣΔh</b>	<b>Σ(Δh/Q<sub>i</sub>)</b>	<b>ΔQ</b>
-0.33	558.22	0.0003	-0.072	507.89	0.0001	-0,005	501,63	0,0000

\* La L4 pertany a les dues malles.

La iteració a nivell de càlcul tindria la següent forma:

Malla 1

**Tram 1**

$$Q_2(1) = Q_1(1) + \Delta Q_1(1) = 2.0 + 0.3 = 2.3 \text{ l/s}$$

$$Q_3(1) = Q_2(1) + \Delta Q_2(1) = 2.3 + 0.0 = 2.3 \text{ l/s}$$

$$Q_4(1) = Q_3(1) + \Delta Q_3(1) = 2.3 + 0.0 = 2.3 \text{ l/s}$$

**Tram 2**

$$Q_2(1) = Q_1(1) + \Delta Q_1(1) = -3.0 + 0.3 = -2.7 \text{ l/s}$$

$$Q_3(1) = Q_2(1) + \Delta Q_2(1) = -2.7 + 0.0 = -2.7 \text{ l/s}$$

$$Q_4(1) = Q_3(1) + \Delta Q_3(1) = -2.7 + 0.0 = -2.7 \text{ l/s}$$

**Tram 3**

$$Q_2(1) = Q_1(1) + \Delta Q_1(1) = 1.0 + 0.3 = 1.3 \text{ l/s}$$

$$Q_3(1) = Q_2(1) + \Delta Q_2(1) = 1.3 + 0.0 = 1.3 \text{ l/s}$$

$$Q_4(1) = Q_3(1) + \Delta Q_3(1) = 1.3 + 0.0 = 1.3 \text{ l/s}$$

**Tram 4**

$$Q_2(1) = Q_1(1) + \Delta Q_1(1) - \Delta Q_1(2) = -0.5 + 0.3 - 0.3 = -0.5 \text{ l/s}$$

$$Q_3(1) = Q_2(1) + \Delta Q_2(1) - \Delta Q_2(2) = -0.5 + 0.0 - 0.1 = -0.6 \text{ l/s}$$

$$Q_4(1) = Q_3(1) + \Delta Q_3(1) - \Delta Q_3(2) = -0.6 + 0.0 - 0.0 = -0.6 \text{ l/s}$$

Malla 2

**Tram 4**

$$Q_2(2) = Q_1(2) + \Delta Q_1(2) - \Delta Q_1(1) = 0.5 + 0.3 - 0.3 = 0.5 \text{ l/s}$$

$$Q_3(2) = Q_2(2) + \Delta Q_2(2) - \Delta Q_2(1) = 0.5 + 0.1 - 0.0 = 0.6 \text{ l/s}$$

$$Q_4(2) = Q_3(2) + \Delta Q_3(2) - \Delta Q_3(1) = 0.6 + 0.0 - 0.0 = 0.6 \text{ l/s}$$

**Tram 5**

$$Q_2(2) = Q_1(2) + \Delta Q_1(2) = -1.5 + 0.3 = -1.2 \text{ l/s}$$

$$Q_3(2) = Q_2(2) + \Delta Q_2(2) = -1.2 + 0.1 = -1.1 \text{ l/s}$$

$$Q_4(2) = Q_3(2) + \Delta Q_3(2) = -1.1 + 0.0 = -1.1 \text{ l/s}$$

**Tram 6**

$$Q_2(2) = Q_1(2) + \Delta Q_1(2) = 0.5 + 0.3 = 0.8 \text{ l/s}$$

$$Q_3(2) = Q_2(2) + \Delta Q_2(2) = 0.8 + 0.1 = 0.9 \text{ l/s}$$

$$Q_4(2) = Q_3(2) + \Delta Q_3(2) = 0.9 + 0.0 = 0.9 \text{ l/s}$$

**Tram 7**

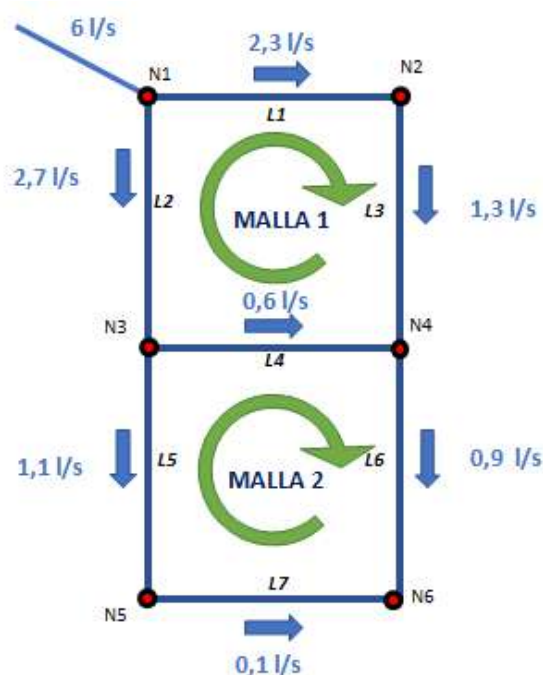
$$Q_2(2) = Q_1(2) + \Delta Q_1(2) = -0.5 + 0.3 = -0.2 \text{ l/s}$$

$$Q_3(2) = Q_2(2) + \Delta Q_2(2) = -0.2 + 0.1 = -0.1 \text{ l/s}$$

$$Q_4(2) = Q_3(2) + \Delta Q_3(2) = -0.1 + 0.0 = -0.1 \text{ l/s}$$

Com es pot observar en el tram 4, que pertany a les dues malles, es troba equilibrat prenent el  $\Delta Q$  de cada malla, però de signe contrari.

Així, el resultat final del flux dins de la malla és:



Un cop trobada la solució dels cabals en cada tram, cal determinar les pèrdues de càrrega per garantir que la pressió en cada nus sigui l'adequada (entre 30 i 60 mca). Així mateix, s'han de comprovar les velocitats de circulació perquè estiguin compreses entre els valors 0.6 i 1 m/s (veure Annex I).



Tram	D <sub>ext</sub> (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	L (m)	Rugos.	Q (l/s)	v (m/s)	H (m)	A <sub>z</sub> (m)	P (mca)
1	90	73.6	200	150	2.33	0.55	0.87	40	39.13
2	90	73.6	200	150	2.67	0.63	1.12	40	38.88
3	90	73.6	200	150	1.33	0.31	0.31	50	49.69
4	90	73.6	200	150	0.57	0.13	0.06	50	49.94
5	90	73.6	200	150	1.09	0.26	0.21	50	49.79
6	90	73.6	200	150	0.91	0.21	0.15	60	59.85
7	90	73.6	200	150	0.09	0.02	0.00	60	60.00

### Críteris d'avaluació

Per avaluar l'activitat proposada a l'aula es proposa l'ús de la rúbrica adjunta (veure *Annex VII*). Breument, aquesta rúbrica detalla i) els coneixements que es desitja que l'alumnat adquireixi, i ii) els críteris que s'empraran per avaluar el contingut de la resolució associada a les activitats plantejades. D'aquesta manera, es considera que es proporciona un sistema d'avaluació objectiu i transparent a l'alumnat.

En primer lloc, s'ha de posar en coneixement de l'alumnat l'existència de la rúbrica. És a dir, s'ha d'informar dels continguts que s'avaluaran. D'aquesta manera, es considera que es proporciona certa guia per enfocar les activitats proposades.

D'una banda, per avaluar el Bloc I, cada grup conformat haurà de lliurar per escrit les respostes a les qüestions plantejades. Aquestes respostes s'avaluaran recolzant-se en la rúbrica proposada. No obstant això, el docent sempre serà lliure de triar un mètode alternatiu d'avaluació si ho creu convenient. D'altra banda, el Bloc II no serà avaluat al tractar-se d'un taller guiat on l'objectiu és proporcionar els coneixements necessaris per desenvolupar l'activitat autònoma que es planteja.

#### 4. ACTIVITAT AUTÒNOMA FORA DE L'AULA

En aquesta activitat es treballarà en petits grups de 3 o 4 persones, podent repetir els mateixos grups de treball que en l'activitat anterior (major facilitat a l'hora d'avaluar les activitats plantejades en conjunt). El motiu principal del treball en grup resideix en fomentar el debat intern. S'estima que la durada de l'activitat pugui assolir unes 15 o 20 hores de treball.

Des d'una perspectiva més tècnica, i en termes metodològics, es proposa resoldre l'exercici utilitzant un full de càlcul Excel, plantejant el problema de manera simplificada però considerant els fenòmens principals per al dimensionament de la xarxa d'abastament d'aigua. No obstant això, es vol destacar l'existència d'altres programaris específics per al càlcul de xarxes hidràuliques. Per exemple, es pot trobar l'eina que es presenta sota el nom de EPANET<sup>6</sup>, la qual és distribuïda en obert per l'Agència de Protecció Mediambiental (EPA, per les sigles en anglès) dels Estats Units. D'altra banda, i com a contrast, també es pot disposar del programari comercial WaterGEMS<sup>7</sup>, desenvolupat per Bentley.

L'objectiu d'aquesta activitat persegueix que l'alumnat apliqui els coneixements adquirits tant a través del taller guiat com per mitjà de la contextualització d'aquest cas d'estudi. Específicament, s'espera que l'alumnat sigui capaç de dimensionar una xarxa de distribució d'aigua de major grandària i que sigui capaç de reflexionar pel que fa a la gestió del servei. Sota aquestes premisses, el problema que es planteja és el següent.



**Imatge 3** Zona d'actuació. Font: Elaboración propia. a partir de Google Earth.

El govern de la ciutat de Lima, a través de l'empresa pública SEDAPAL, en el seu afany per millorar el nivell de servei d'aigua, decideix ampliar la xarxa de subministrament d'aigua al barri de Collique. Un dels acords assolits garanteix l'execució de l'obra amb el compromís dels veïns d'aquest barri de participar en la gestió del servei.

---

<sup>6</sup> Accés i informació al programari EPANET a: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>.

<sup>7</sup> Més informació sobre el programari comercial WaterGEMS a: <https://www.bentley.com/es/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watergems>

La decisió tècnica final recau en la construcció d'una sèrie de fonts públiques ubicades en diferents punts del barri. El criteri d'ubicació recau en proporcionar a cada habitatge l'accés a una font localitzada entre 50 i 100 metres de distància.

Amb l'objectiu de simplificar el problema, en aquest cas d'estudi es treballarà sobre un conjunt limitat d'habitatges (veure *imatge 3*) pertanyent a la part alta de la zona 6 de Collique.

La dotació de disseny es fixa en 120 l/hab·dia. La justificació rau, d'una banda, en què dotacions majors a 100 l/hab·dia satisfan totes les necessitats de consum i higiene, disminuint així els impactes sobre la salut de forma gairebé total (WHO. 2003). I d'altra banda, s'inclou un més que probable increment de consum en el futur.

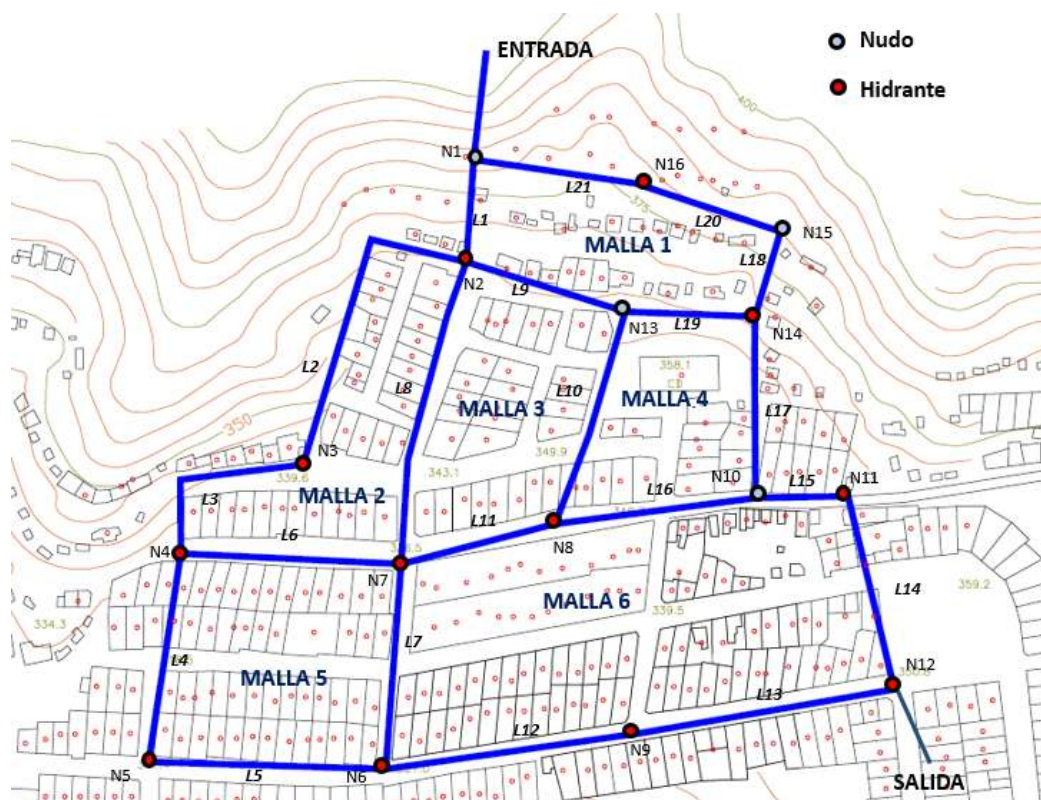
D'altra banda, l'àrea de servei és d'aproximadament 10.2 ha (hm<sup>2</sup>). Si s'estima una distribució homogènia de la població a Collique, la densitat de població és de 23,200 hab/km<sup>2</sup> (veure *Taula 3*), s'estima que a la zona hi viuen 2,366 persones. Si se suposa un creixement de la població del 1.5% anual, l'any 2035 s'estimen 3,187 habitants a la zona d'estudi. Per tant, es tenen les següents dades de partida:

**Taula 9** Dades de partida per al disseny de la xarxa de distribució.

VARIABLE	VALOR
Població actual	2,366 hab
Població estimada al 2035	3,187 hab
Consum diari	382,464 l/dia
Consum diari en hora punta (+10%)	38,246 l/dia
Cabal de disseny	10.6 l/s

S'estima doncs un cabal en hora punta futur de 10.6 l/s per donar servei a l'àrea designada.

A més del cabal a hora punta, es necessita conèixer la geometria de la xarxa. S'ha escollit una xarxa amb 6 malles. 21 trams i 16 nodes. El motiu d'escollir aquesta geometria de malles redundants rau en la possibilitat de garantir la circulació del cabal en cas de trencament d'algun tram. El sistema de fonts es distribueix en 12 dels nodes de la xarxa, els quals tindran un cabal de sortida idèntic de 0.883 l/s. La ubicació d'aquests hidrants s'ha realitzat en base al criteri d'accessibilitat detallat anteriorment (veure *Figura 8*).

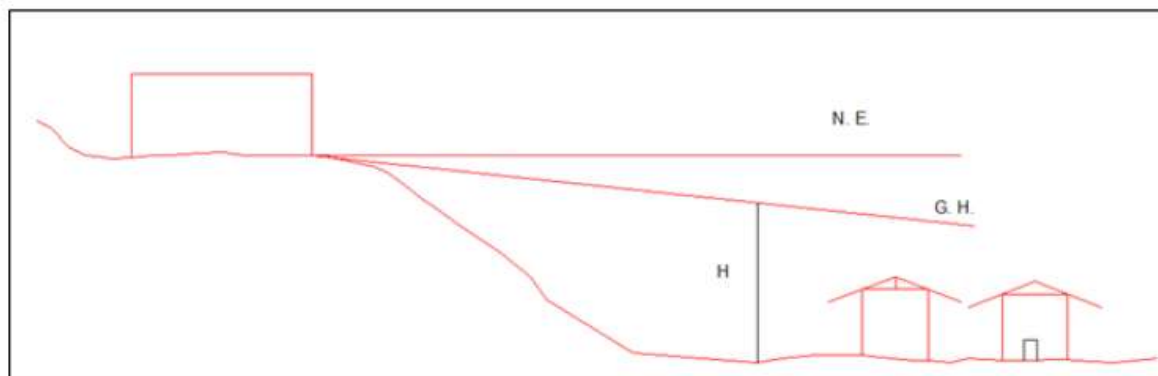


**Figura 8** Proposta geomètrica de la xarxa de distribució.

Finalment, es proporcionen les dades necessàries associades als trams de canonada i nodes de la xarxa per poder abordar l'activitat.

TRAM	LONGITUD (M)	TRAM	LONGITUD (M)
L1	47.6	L12	117.8
L2	146.3	L13	120.3
L3	81.0	L14	92.2
L4	94.7	L15	42.8
L5	109.6	L16	93.4
L6	101.9	L17	84.2
L7	95.4	L18	41.2
L8	141.2	L19	60
L9	77	L20	70
L10	103.7	L21	75.8
L11	73.6		

Com a punt d'entrada d'abastament, es construirà un dipòsit d'emmagatzematge que estarà situat a 8 metres sobre el node N1. Aquesta alçada permet que, per gravetat, el flux d'aigua es distribueixi a les fonts públiques superant el gradient hidràulic. La capacitat del dipòsit s'estima en 1,000 m<sup>3</sup>, encara que aquesta dada no influeix a l'hora de dimensionar la xarxa de distribució, però sí a l'hora d'entendre el funcionament del sistema.



**Figura 9** Esquema de distribució d'un dipòsit en alçada. Font: Jiménez Terán, 2013.

NODE	ALTITUD (M)
N1	382
N2	360
N3	360
N4	333
N5	311
N6	321
N7	336
N8	340

NODE	ALTITUD (M)
N9	335
N10	350
N11	355
N12	350
N13	362
N14	372
N15	380
N16	377

Un cop proporcionades les dades necessàries per a desenvolupar l'activitat tècnica proposada, es requereix que l'alumnat també reflexioni i plantegi la seva resposta a les qüestions indicades a continuació. Addicionalment, es sol·licita vincular aquestes reflexions amb el codi ètic de la professió. Per a tal fi, es pot prendre com a exemple el codi deontològic per a enginyers industrials (veure *Annexos III i IV*), podent utilitzar un altre document similar si es considera convenient.

1. Analitzar i discutir els resultats tècnics obtinguts.
2. Plantejar un esquema de gestió de la xarxa que es construirà (màxim 2 pàgines). En aquesta proposta, es pot incidir sobre aspectes relatius a l'organització entre els residents del barri, la relació amb SEDAPAL, el control de l'aigua subministrada (qualitat, consum, etc.), l'estratègia a mig/llarg termini, l'actuació en base a la població més vulnerable del barri, la transferència de coneixement, etc. Addicionalment, i des del punt de vista ètic, reflexionar sobre la necessitat/responsabilitat de l'enginyer/a de participar en el procés de disseny del sistema de gestió.
3. Detallar els possibles motius pels quals no s'ha executat un projecte en el qual es proveeixi als habitatges de connexió domiciliar d'aigua.
4. En el cas d'emprar un altre codi ètic de la professió, comparar de forma breu les principals similituds i diferències.

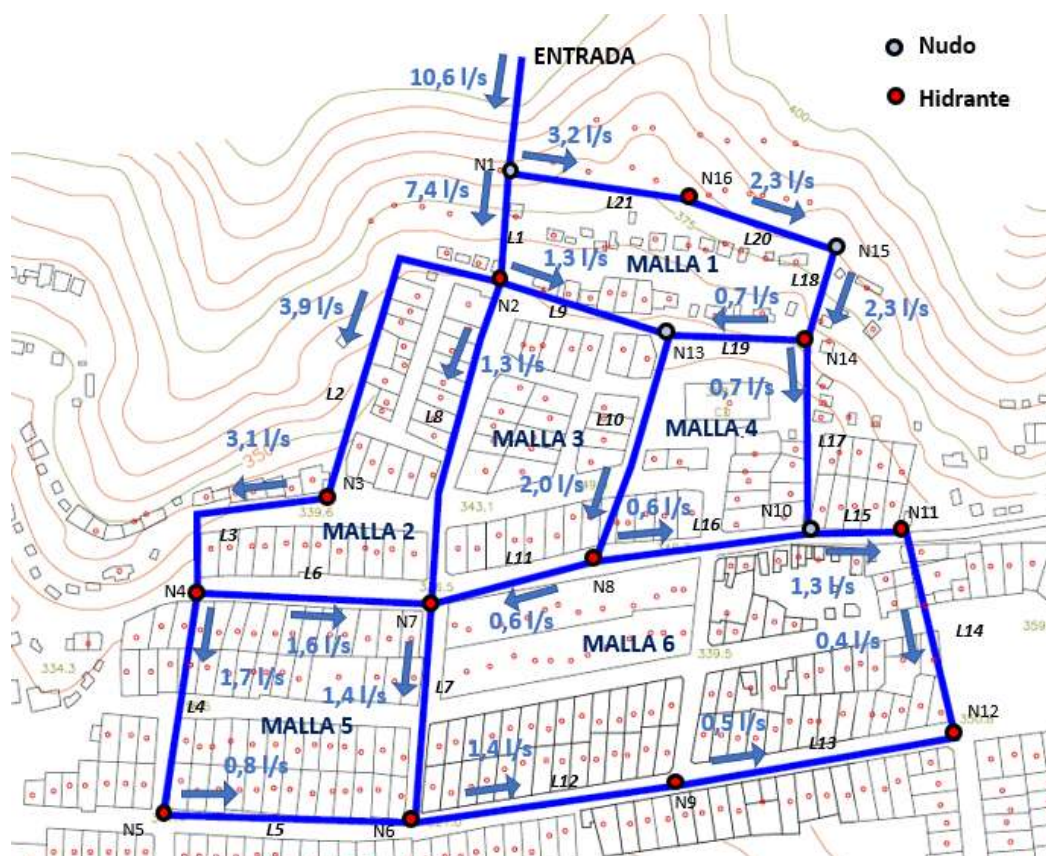


5. Comparar el resultat de construir fonts públiques i connexions domiciliars des de la perspectiva i metodologia de l'índex multidimensional plantejat ( $\text{Índex}_{\text{DHA}}$ ). Per a tal fi, recolzar-se en la proposta conceptual detallada a la *Taula 7*.

6. Reflexionar sobre la idoneïtat d'emprar l'índex multidimensional proposat per avaluar el nivell de servei d'aigua. Consideres que s'haurien d'incloure les dimensions del DHA per avaluar l'acompliment d'un prestador de servei com SEDAPAL? Valorar pros i contres d'implementar aquesta proposta.

#### 4.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVALUACIÓ

S'han de realitzar els càlculs hidràulics per a cada tram. Per a això s'ha de partir d'una primera suposició de repartiment de cabals per a cada malla, assignant uns sentits de flux aleatoris. Aquests sentits i cabals serviran per realitzar la primera iteració del procés de càlcul. Una possible distribució de cabals podria ser la següent:



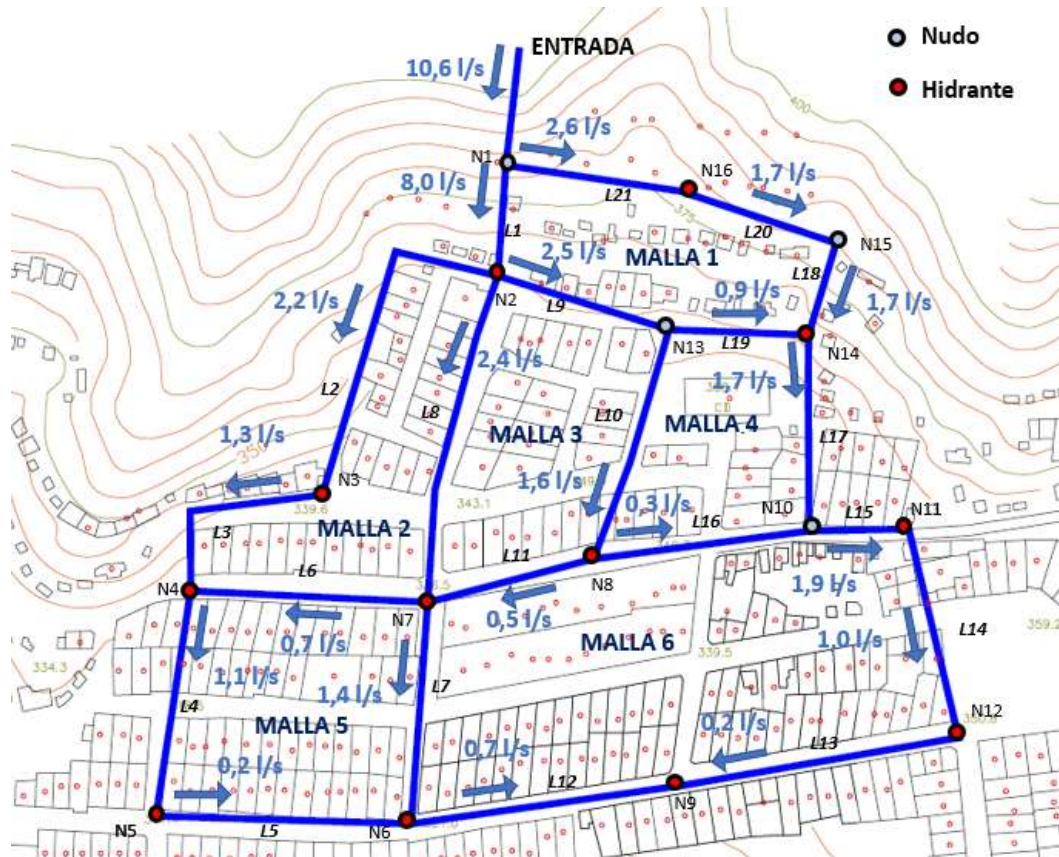
Per al càlcul dels diàmetres de les canonades s'utilitza el mètode iteratiu de Hardy-Cross (veure *Annex I*). En primer lloc, es realitza un equilibri de flux entre els nusos i es calcula el diàmetre interior teòric ( $D_t$ ). Un cop es disposi del  $D_t$ , s'ha de buscar el diàmetre comercial més proper que garanteixi unes velocitats compreses específiques. Per exemple, en cas

d'arribar a una velocitat de 0.5 m/s, es prendrà el diàmetre comercial de menor radi (en aquest cas, 90 mm). D'aquesta manera, es presenten els resultats obtinguts:

ESTIMACIÓ DEL DIÀMETRE NECESSARI						
Node	Q (l/s)	v (m/s)	D <sub>int</sub> (mm)	D <sub>int</sub> comer. (mm)	D <sub>ext</sub> comer. (mm)	Comprob. v
1	10.623	1,00	116.30	130.80	160 (P.N.16 ESP.)	0.79
2	6.551	1,00	91.33	114.60	140 (P.N.16 ESP.)	0.64
3	3.045	1,00	62.27	73.60	90 (P.N.16 ESP.)	0.72
4	2.160	1,00	52.44	73.60	90 (P.N.16 ESP.)	0.51
5	0.843	1,00	32.76	73.60	90 (P.N.16 ESP.)	0.20
6	1.381	1,00	41.93	73.60	90 (P.N.16 ESP.)	0.32
7	1.424	1,00	42.57	73.60	90 (P.N.16 ESP.)	0.33
8	1.133	1,00	37.98	73.60	90 (P.N.16 ESP.)	0.27
9	0.496	1,00	25.12	73.60	90 (P.N.16 ESP.)	0.12
10	1.275	1,00	40.29	73.60	90 (P.N.16 ESP.)	0.30
11	0.390	1,00	22.27	73.60	90 (P.N.16 ESP.)	0.09
12	0.000	1,00	---	73.60	90 (P.N.16 ESP.)	0.00
13	2.018	1,00	50.69	73.60	90 (P.N.16 ESP.)	0.47
14	1.416	1,00	42.47	73.60	90 (P.N.16 ESP.)	0.33
15	2.302	1,00	54.14	73.60	90 (P.N.16 ESP.)	0.54
16	2.302	1,00	54.14	73.60	90 (P.N.16 ESP.)	0.54

Un cop obtinguts aquests valors, es realitzarà la iteració dels càlculs detallada al taller guiat. Per a això, tal com s'ha esmentat, s'utilitzarà com a suport un full de càlcul Excel, a causa de la gran quantitat d'operació i iteracions (mínim 5 per malla).

El resultat de les iteracions seria el següent:



Igual que al taller guiat, quedaria determinar les pèrdues de càrrega per garantir que la pressió a cada nus sigui l'adequada, igual que les velocitats de circulació.

Tram	D <sub>ext</sub> (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	L (m)	Rugos.	Q (l/s)	v (m/s)	H (m)	A <sub>z</sub> (m)	P (mca)
1	140	114.6	47.6	150	8.04	0.78	0.24	22	29.76
2	90	73.6	146.3	150	2.22	0.52	0.58	22	29.42
3	90	73.6	81	150	1.33	0.31	0.13	49	56.87
4	90	73.6	94.7	150	1.12	0.26	0.11	47	54.89
5	90	73.6	109.6	150	0.24	0.06	0.01	61	68.99
6	90	73.6	101.9	150	0.68	0.16	0.04	61	68.96
7	90	73.6	95.4	150	1.37	0.32	0.16	61	68.84
8	90	73.6	141.2	150	2.42	0.57	0.66	46	53.34
9	90	73.6	77	150	2.52	0.59	0.39	20	27.61



Tram	D <sub>ext</sub> (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	L (m)	Rugos.	Q (l/s)	v (m/s)	H (m)	A <sub>z</sub> (m)	P (mca)
10	90	73.6	103.7	150	1.65	0.39	0.24	42	49.76
11	90	73.6	73.6	150	0.51	0.12	0.02	46	53.98
12	90	73.6	117.8	150	0.72	0.17	0.06	47	54.94
13	90	73.6	120.3	150	0.16	0.04	0.00	32	40.00
14	90	73.6	92.2	150	1.05	0.25	0.09	32	39.91
15	90	73.6	42.8	150	1.93	0.45	0.13	27	34.87
16	90	73.6	93.4	150	0.25	0.06	0.01	42	49.99
17	90	73.6	84.2	150	1.68	0.39	0.20	32	39.80
18	90	73.6	41.2	150	1.69	0.40	0.10	10	17.90
19	90	73.6	60	150	0.87	0.21	0.04	15	22.96
20	90	73.6	70	150	1.69	0.40	0.17	2	9.83
21	90	73.6	75.8	150	2.58	0.61	0.40	5	12.60

1. Un cop realitzat el dimensionament, es sol·licitava analitzar i discutir els resultats tècnics obtinguts.

Uns dels primers aspectes destacables és l'existència de certs trams de canalització (trams 9, 18, 19, 20 i 21, corresponents a la malla 1) en els quals la pressió de l'aigua no es troba entre els valors de comprovació citats anteriorment (entre 30 i 60 mca). Aquests valors de disseny serveixen per assegurar les pressions de la xarxa en el cas d'edificacions de diverses plantes d'altura sense necessitat d'instal·lacions addicionals. La urbanització actual de Collique i el sistema de distribució de fonts admet unes pressions menors, atès que la distribució es realitza a nivell de sòl.

Com s'ha dimensionat la xarxa perquè pugui suportar un futur sistema de gestió domèstic, s'ha de tenir en compte que, a les parcel·les situades a la part alta del barri, la pressió és inferior a 30 mca. Si les edificacions més altes de la zona tenen més de dos pisos, és probable que es necessitin bombes d'aigua per abastir als pisos superiors. Actualment, les zones més altes de Collique són les que presenten construccions més precàries, disposant únicament de planta baixa (veure *Imatge 2*). Per aquest motiu, les pressions calculades garanteixen el servei d'aigua corrent a aquestes cotes.

Alguns trams de les cotes inferiors presenten pressions superiors als 60 mca. Es recomana que les pressions dins de les canonades siguin inferiors a aquest valor per disposar d'un marge de seguretat dels diferents elements de la xarxa (juntres, canonades, vàlvules). En els trams en què la pressió sobrepassa aquest valor de disseny, s'assoleixen valors entre el 10% i 15% més. Malgrat que els diferents components materials que conformen la xarxa se solen dissenyar per suportar pressions de 100 mca<sup>8</sup>, és important tenir en compte aquestes altes pressions per preveure la possible instal·lació de reguladors al llarg de la xarxa.

Els diferents components mecànics d'una xarxa d'abastament no s'han tractat en aquest cas d'estudi, centrant-se el problema als càlculs de flux i d'equilibri de malles, no als procediments constructius de la pròpia xarxa. Malgrat això, s'han de tenir en compte altres consideracions tècniques complementàries a les exposades (p.e. altres aspectes tractats en l'assignatura).

D'altra banda, es pot afirmar que la xarxa està lluny dels valors màxims de funcionament. Les velocitats de circulació de l'aigua no arriben al valor d'1 m/s, el qual es considera com a valor òptim a l'hora de dimensionar un diàmetre de canonada donat. Per tant, la xarxa resultant podria absorbir un augment de la demanda. Per corroborar aquesta afirmació, es recomana realitzar l'exercici de doblar el cabal d'entrada i reajustar la malla si fos necessari. En el cas que el barri creixés en grandària i població, a part d'un major consum, caldria revisar la pressió d'entrada a la xarxa de distribució plantejada.

Per la seva banda, es pot observar com pràcticament la totalitat de les canonades emprades (excepte el tram 1, per motius d'un major cabal d'entrada) compten amb la mateixa mida comercial (90 mm de diàmetre exterior). Utilitzar el mateix diàmetre de canonada és útil per motius tant de construcció com de manteniment.

**2.** En relació a l'esquema de gestió que se sol·licita, cal destacar que és una resposta oberta i no hi ha una única solució. Per tant, no es proporciona cap exemple específic al respecte.

D'altra banda, tal com es plantejava a l'enunciat, s'espera que l'alumnat reflexioni des de dos punts de vista diferents. En primer lloc, amb tot el relacionat amb la pròpia gestió del servei (organització entre els residents, relació amb SEDAPAL, control de l'aigua subministrada, etc.). En segon lloc, es pretén que es reflexioni sobre l'activitat professional des d'un punt de vista ètic. En aquest sentit, i partint de la solució proposada, es busca que

---

<sup>8</sup> Document Bàsic DB-HS 4 (punt 6.2.3), complementari al codi Tècnic de l'Edificació (RD 314/2006, Espanya).

l'alumnat estableixi vincles amb aspectes mediambientals, socials i econòmics amb el codi ètic que hagin emprat.

3. Poden existir diversos motius pels quals no s'executi un projecte en el qual es proveeixi als habitatges de connexió domiciliar d'aigua. Atès que, de la mateixa manera que en la qüestió anterior, la resposta és oberta, a continuació es detallen algunes possibles línies de reflexió. En primer lloc, un projecte d'aquesta índole porta associat una major complexitat d'execució i un major cost econòmic. En concret, a la xarxa dimensionada, s'han emprat 1,822 m de canonada per distribuir aigua als pilons (veure *Annex VI*). En segon lloc, el clar estalvi econòmic podria ser emprat en construir un sistema similar en algun altre punt de la ciutat on hi hagi una situació similar a la de Collique. L'objectiu seria anteposar el nombre de persones accedint al servei, en comptes de proporcionar un servei òptim a un nombre menor. En tercer lloc, la solució proposada persegueix la participació ciutadana pel que fa a la gestió del servei. En aquest sentit, es facilitaria la pròpia gestió del prestador de servei i s'afavoriria l'increment de la sensibilització en tot el que concerneix a aquest servei. No obstant això, aquesta possible estratègia no estaria exempta de l'aparició de possibles conflictes entre les dues parts.

4. En el cas d'emprar un altre codi ètic de la professió, se sol·licita identificar aquells aspectes principals en què coincideixen i difereixen amb els codis aportats a manera d'exemple (*Annexos III i IV*). En el cas d'emprar els codis facilitats, no serà necessari contestar a aquesta qüestió. L'objectiu principal de la pregunta és que l'alumnat conegui i reflexioni al voltant del codi deontològic de la professió.

5. A continuació es mostren els resultats quantitatius de l'índex multidimensional  $\text{Índex}_{\text{DHA}}$  per als casos de proveir la població de Collique a través de fonts públiques (pilons) o connexions domiciliars. Per definir els valors associats a les dimensions del DHA, s'empra el marc conceptual proposat a la *Taula 7* d'aquest document. Els pesos associats a cada dimensió es mantenen constants d'acord a la investigació realitzada a Collique.

PILONS	Qualitat (CAL)	Accessibilitat (ACC)	Disponibilitat (DIS)	Acceptabilitat (ACP)	Assequibilitat (ASQ)
Valor	0.5	0.25	0.75	0.5	0.75
Pes	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$
	0.45	0.26	0.16	0.09	0.04
<b><math>\text{Índex}_{\text{DHA}}</math></b>	<b>0.52</b>				

CONEX. DOMICIL.	Qualitat (CAL)	Accessibilitat (ACC)	Disponibilitat (DIS)	Acceptabilitat (ACP)	Assequibilitat (ASQ)
Valor	1	0.75	1	0.75	0.75
Pes	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$
	0.45	0.26	0.16	0.09	0.04
<b>Índex<sub>DHA</sub></b>	<b>0.89</b>				

En relació als resultats obtinguts, es pot apreciar la clara diferència entre les dues possibles solucions. Tenint en compte que el valor actual és de 0.37 (veure Secció 2.5), aquesta valoració augmentaria un 30% (0.52) construint fonts públiques i un 60% (0.89) en el cas de proveir connexions domiciliars.

6. Encara que aquesta qüestió també és oberta a la opinió de l'alumnat, hi ha alguns aspectes que es vol assenyalar. Com a aspectes positius, l'ús del marc de monitorització comú, com el que es planteja, oferiria una visió més propera a la realitat, alineada amb el reconeixement d'aquest servei com a Dret Humà. Alhora, facilitaria la comparació entre diferents àrees/regions, donant suport de forma objectiva, la prioritització al voltant de què fer i on invertir, visibilitzant aquells sectors de la població més vulnerables. Addicionalment, es fomentaria la transparència per part del prestador de servei. Com a aspectes negatius, i en funció dels resultats que proporcionaria l'ús d'aquest índex, podrien sorgir conflictes amb la població si la valoració fos baixa. D'altra banda, el obtenir i actualitzar la informació pel que fa a les dimensions del DHA, tindria sobretot en els primers anys d'implementació, un cost extra per al prestador. Encara més si es desitgés també incidir en els impactes descrits en l'activitat a l'aula. No obstant això, cal dir que aquest últim aspecte no hauria de ser responsabilitat exclusiva del prestador de servei.

Finalment, es vol afegir l'alineació existent amb la meta 6.1 de l'ODS 6. Encara que existeixen certes diferències amb els indicadors proposats a nivell internacional, els quals no inclouen aspectes de assequibilitat i acceptabilitat, aquest índex multidimensional podria representar un punt de partida per a integrar de manera íntegra les dimensions del DHA. No obstant això, caldria aprofundir en una proposta més general que pugui emprar-se en diferents realitats.

### **Criteris d'avaluació**

Per avaluar aquesta activitat es sol·licitarà el lliurament d'un informe (inclòs l'annex amb els càlculs pertinents) que resolgui totes les qüestions plantejades a l'activitat.

Per a l'avaluació de l'informe, es recomana l'ús de la rúbrica esmentada anteriorment (veure *Annex VII*). Aquest instrument identifica de forma específica quins aspectes de l'activitat fora de l'aula es consideraran i com es puntuaran.

No obstant això, i com s'ha esmentat anteriorment, el docent és lliure de triar un mètode alternatiu d'avaluació si ho creu convenient.

## BIBLIOGRAFIA

ANA. Autoridad Nacional del Agua. 2010. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos. Ley N° 29338. Available from: <<http://www.ana.gob.pe/media/533045/reglamento%20lrh%20-%20n%C2%BA%2029338.pdf>> [5 December 2017].

Cairncross, S., and Valdmanis, V. 2006. "Water Supply, Sanitation, and Hygiene Promotion". In: Jamison, D.T., Breman, J.G., Measham, A.R., Alleyne, G., Claeson, M., Evans, D.B., Jha, P., Mills, A., Musgrove, P. (Eds.). Disease Control Priorities in Developing Countries. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington DC.

Carter, R.C., Tyrrel, S.F., and Howsam, P. 1999. "Impact and Sustainability of Community Water Supply and Sanitation Programmes in Developing Countries". Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management 13. 292–296.

Environmental Protection Agency (EPA). EPANET: Model for Water Distribution Piping Systems. Available from: <<https://www.epa.gov/water-research/epanet>>.

Flores-Baquero, O. 2015. "Development of Methods for Monitoring the Water and Sanitation Sector at Different Scales through Human Rights Lenses". Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, Spain. Available at: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/95834>.

Grau Huguet, H. 2017. "Marco conceptual para el monitoreo de servicios de agua potable y saneamiento en entornos metropolitanos desde una perspectiva de derechos humanos. Aplicación a Lima (Perú)". Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, Spain. Available at: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/104263>.

INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú. 2015. Estado de la Población Peruana 2015. Available from: <[http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1251/Libro.pdf](http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1251/Libro.pdf)> [5 December 2017].

Ioris, A. 2016. "Water Scarcity and the Exclusionary City: the Struggle for Water Justice in Lima, Peru". Water International 41, 125-139. doi:10.1080/02508060.2016.1124515.

Jiménez Terán, J.M. 2013. "Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario". Facultad de Ingeniería Civil, Campus Xalapa de la Universidad Veracruzana. Available from: <<https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>>

Joint Monitoring Programme. 2015. “Progresos en Materia de Saneamiento y Agua Potable: Informe de Actualización 2015 y Evaluación del ODM”. New York and Geneva.

Joint Monitoring Programme. 2017. “Progresos en Materia de Agua Potable, Saneamiento e Higiene: Informe de Actualización de 2017 y línea de base de los ODS”. New York and Geneva.

Municipalidad Metropolitana de Lima. 2016. Plan de Desarrollo Local Concertado de Lima Metropolitana 2016 – 2021.

Available from: <<https://eduardoiberico.files.wordpress.com/2016/08/plan-de-desarrollo-local-concertado-de-lima-metropolitana-2016-2021.pdf>> [6 December 2017].

Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo. “Código Técnico de la Edificación, Documento Básico DB-HS 4”. Ministerio de Vivienda de España. Available from: <<https://www.boe.es/boe/dias/2006/03/28/pdfs/C00001-00952.pdf>> [31 Enero 2018]

Shepetukha, Y. and Olson, D.L. 2001. “Comparative Analysis of Multiattribute Techniques Based on Cardinal and Ordinal Inputs”. *Mathematical and Computer Modelling* 34. 229–241. doi: 10.1016/S0895-7177(01)00056-5.

SUNASS, Superintendencia Nacional de los Servicios de Saneamiento. 2015.

Benchmarking Regulatorio de las EPS. Available from:

<[http://www.sunass.gob.pe/benchmark/benchmarking\\_datos\\_2015\\_.pdf](http://www.sunass.gob.pe/benchmark/benchmarking_datos_2015_.pdf)> [6 December 2017].

United Nations and World Health Organization. 2012. “No One Left Behind: Good Practices to Ensure Equitable Access to Water and Sanitation in the Pan-European Region”. New York and Geneva.

United Nations General Assembly. 2010a. “Human Rights and Access to Safe Drinking Water and Sanitation”. Resolution A/HRC/RES/15/9.

United Nations General Assembly. 2010b. “The Human Right to Water and Sanitation”. Resolution A/RES/64/292.

UN-Water. 2016. “Water and Sanitation Interlinkages across the 2030 Agenda for Sustainable Development”. Geneva.

World Health Organization (WHO). 2003. “Domestic Water Quantity, Service Level and Health”. Geneva.

## ANNEXOS

- I. Paràmetres a tenir en compta per al dimensionament d'una xarxa  
< A.I\_Parametres\_dimensionament\_xarxa.pdf >
- II. Esquema de càlculs per a una xarxa mallada < A.II\_Calculs\_xarxa\_mallada.pdf >
- III. Exemple codi ètic enginyeria (en espanyol)  
< A.III\_Codigo\_Deontologico\_Ingenieros\_Industriales.pdf >
- IV. Exemple codi ètic enginyeria industrial (en anglès)  
< A.IV\_Codigo\_Deontologico\_ASCE\_english.pdf >
- V. Càlculs activitat a l'aula < A.V\_Calculs\_activitat\_aula.xlsx >
- VI. Dades activitats < A.VI\_Calculs\_activitat\_fora\_aula.xlsx >
- VII. Rúbrica d'avaluació < A.VII\_Rubrica\_avaluacio.pdf >





**GDEE**

GLOBAL  
DIMENSION IN  
ENGINEERING  
EDUCATION

<http://www.gdee.eu>



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

**UAB**

Universitat Autònoma  
de Barcelona

Aquest projecte està finançat per:



**Ajuntament  
de Barcelona**

CASOS D'ESTUDI

# Anàlisi Multivariant i Construcció d'Índexs: Mineria de Dades Aplicada al Sector Aigua i Sanejament Rural a Hondures

Camila Vergara Fuentes i Agustí Pérez Foguet



FOTO: "Enginyeria local", Hondures. David Requejo-Castro



**GDEE** | GLOBAL  
DIMENSION IN  
ENGINEERING  
EDUCATION

CASOS DE ESTUDIO **Anàlisi Multivariant i Construcció d'Índexs:  
Mineria de Dades Aplicada al Sector Aigua  
i Sanejament Rural a Hondures**

**EDITAT PER**

Engineering Sciences and Global Development Research Group,  
Universitat Politècnica de Catalunya

**COORDINAT PER**

David Requejo-Castro, Ricard Giné-Garriga  
i Agustí Pérez-Foguet (*Universitat Politècnica de Catalunya*)

DL B 5492-2018  
ISBN: 978-84-697-9614-6

Aquesta obra està publicada sota  
una llicència Creative Commons  
Reconeixement - No comercial  
- CompartirIgual



Citació: Vergara Fuentes, C., i Pérez-Foguet, A. 2018. "Anàlisi Multivariant i Construcció d'Índexs: Mineria de Dades Aplicada al Sector Aigua i Sanejament Rural a Hondures". A Casos d'Estudi per Integrar i Promoure Problemàtiques Globals a l'Aula d'Enginyeria Civil. EScGD (eds.). Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona.  
Disponible a: <http://www.eduglobalstem.cat/recursos/>

Descàrrec de responsabilitat: Aquest document ha estat produït amb el suport financer de l'Ajuntament de Barcelona. El contingut d'aquest document és responsabilitat exclusiva dels autors i sota cap circumstància pot considerar-se que reflecteix la posició de l'Ajuntament de Barcelona.

# 5 ANÀLISI MULTIVARIANT I CONSTRUCCIÓ D'ÍNDEXS: MINERIA DE DADES APLICADA AL SECTOR AIGUA I SANEJAMENT RURAL A HONDURES

**Camila Vergara Fuentes**, Universitat Politècnica de Catalunya.

**Agustí Pérez Foguet**, Universitat Politècnica de Catalunya.

## ÍNDEX

<b>1. INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>3</b>
1.1. DISCIPLINES COBERTES .....	3
1.2. RESULTATS D'APRENENTATGE.....	4
1.3. ACTIVITATS .....	4
<b>2. DESCRIPCIÓ DEL CONTEXT</b> .....	<b>5</b>
2.1. BREU HISTÒRIA DEL MONITORATGE DE L'ACCÉS A L'AIGUA I AL SANEJAMENT .....	5
2.2. HONDURES, LEMPIRA: CONTEXT DEL CAS D'ESTUDI.....	10
2.3. SISTEMA D'INFORMACIÓ D'AIGUA I SANEJAMENT RURAL (SIASAR).....	15
2.4. L'ESTADÍSTICA COM A EINA PER A L'ANÀLISI DE DADES .....	19
<b>3. ACTIVITAT A L'AULA</b> .....	<b>21</b>
3.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVUACIÓ.....	25
<b>4. ACTIVITAT AUTÒNOMA FORA DE L'AULA</b> .....	<b>28</b>
4.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVUACIÓ.....	31
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>33</b>
<b>ANNEXOS</b> .....	<b>36</b>

## 1. INTRODUCCIÓ

L'accés a l'aigua, al sanejament i a la higiene (WASH, per les sigles en anglès) són fonamentals per al desenvolupament humà i el seu benestar. No són només objectius per si mateixos, sinó també són crítics per a l'assoliment d'altres objectius de desenvolupament. No obstant això, moltes persones no tenen garantit l'accés a aquests serveis bàsics. Aquesta situació ha estat reconeguda pels Estats Membres de les Nacions Unides, els que ja l'any 2000 van subscriure la Declaració del Mil·lenni, que va conduir als Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni (ODM). Posteriorment al setembre de 2015, es va celebrar una cimera històrica de les Nacions Unides on els dirigents mundials van aprovar els 17 Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) de l'Agenda 2030 per al Desenvolupament Sostenible. Aquests nous Objectius estan basats en les persones, i a través d'aquests objectius, en els propers 15 anys, els països intensificaran els esforços per posar fi a la pobresa en totes les seves formes, reduir la desigualtat i lluitar contra el canvi climàtic i garantir, al mateix temps, que ningú es quedi enrere. Específicament, l'Objectiu 6 insta garantir la disponibilitat d'aigua, la seva gestió sostenible, i el sanejament per a tothom a través de 8 metes proposades de cara l'any 2030.

Per poder assolir aquests objectius, ha estat necessari elaborar una estratègia global i definir quins factors s'han de considerar, i com s'han de considerar. Tot això amb la voluntat d'aportar una guia per a l'aplicació de les possibles actuacions. En aquest context, els indicadors i índexs juguen un paper destacable en aportar informació que permet donar resposta a alguns interrogants sobre què, com, on i qui ha d'actuar.

En aquest cas d'estudi s'introduirà la situació actual en relació a l'accés a l'aigua i al sanejament i com ha evolucionat el monitoratge del sector en els darrers anys. En segon lloc, es realitzarà un apropament específic a la realitat hondurenya. Finalment, es proporcionarà la informació necessària referent a la situació del sector de l'aigua i el sanejament i al context de treball (base de dades del Departament de Lempira, Hondures) per executar les activitats proposades.

### 1.1. DISCIPLINES COBERTES

La principal disciplina abordada en aquest cas d'estudi és l'anàlisi de dades reals a través de tècniques estadístiques, incloent l'Anàlisi de Components Principals i la Regressió Lineal Múltiple, segons la disponibilitat d'informació (dades i valoracions quantitatives). L'objectiu és facilitar la comprensió d'aquestes tècniques i aplicar-les utilitzant un programari especialitzat, analitzant les sèries de dades i interpretant els resultats. Sota aquestes

premisses, es considera indispensable el maneig d'alguns coneixements bàsics d'estadística.

També s'aborden aspectes relacionats amb la cooperació al desenvolupament, al mateix temps que es promou el treball en equip, ja que la major part de les activitats proposades es fan en petits grups, estimulant en última instància un debat general al aula.

## 1.2. RESULTATS D'APRENTATGE

Com a resultat d'aquest cas d'estudi, s'espera que l'alumnat sigui capaç de:

- Comprendre el problema de la manca d'accés als serveis d'aigua potable i sanejament i les seves conseqüències per al desenvolupament humà, així com els vincles amb la pobresa;
- Comprendre com la gestió de la informació pot donar suport en els processos de presa de decisió, com ara l'assignació de recursos en una regió d'estudi determinada;
- Aplicar l'anàlisi estadística sobre dades reals mitjançant l'ús de programari estadístic especialitzat, a part d'altres anàlisis estadístiques bàsiques;
- Conèixer i utilitzar tècniques estadístiques com l'Anàlisi de Components Principals i Regressió Lineal per a ser aplicades a l'anàlisi de dades.

## 1.3. ACTIVITATS

El treball a dur a terme es planteja en base a dues activitats. Una primera activitat a l'aula que, a la vegada, es subdivideix en dos blocs. El primer bloc convidarà a reflexionar sobre els coneixements teòrics presentats a través del plantejament de diverses qüestions. El segon bloc, en forma de "taller", l'alumnat serà guiat en l'aplicació de conceptes d'estadística bàsica, la metodologia d'Anàlisi de Components Principals (ACP), l'aplicació de Regressió Lineal Múltiple (RLM) i la corresponent construcció d'índexs . Aquests conceptes s'abordaran a través de la utilització del programari lliure R (versió 1.0.143).

La segona activitat es realitzarà de forma autònoma, però en petits grups (aproximadament de 3 persones). Bàsicament s'instarà a l'alumnat a aplicar els conceptes i mètodes apresos en l'activitat anterior. No obstant, s'exigirà un nivell d'aprofundiment més ampli, a través

d'una simulació associada amb els processos presa de decisió referents al cas d'estudi presentat.

Cada una de les activitats realitzades amb el suport del programari específic està composta de 4 parts:

- Part 0: Anàlisi estadística univariada i multivariada
- Part I: Aplicació de Tècnica no Supervisada
- Part II: Aplicació de Tècnica Supervisada
- Part III: Reflexió

## 2. DESCRIPCIÓ DEL CONTEXT

En aquesta secció es proporciona informació rellevant que permet contextualitzar el cas d'estudi. En primer lloc, s'exposa l'evolució que el sector de l'aigua i el sanejament ha experimentat pel que fa al monitoratge. Al mateix temps, s'ofereixen les últimes estimacions existents a nivell global amb la finalitat de mostrar la situació existent en el sector. En segon lloc, es presenta la situació específica a Hondures, ressaltant aspectes com la governança del sector. I en última instància, s'introdueixen els aspectes bàsics del Sistema d'Informació d'Aigua i Sanejament Rural (SIASAR), iniciativa que s'estén a 11 països de Llatinoamèrica i el Carib i de la qual Hondures és precursor. Addicionalment, es proporcionaran dades reals associades a aquest sistema d'informació per dur a terme les activitats plantejades.

### 2.1. BREU HISTÒRIA DEL MONITORATGE DE L'ACCÉS A L'AIGUA I AL SANEJAMENT

L'accés a l'aigua, al sanejament i a la higiene (WASH, per les sigles en anglès) són fonamentals per al desenvolupament humà i el seu benestar (Carter et al., 1999; Cairncross & Valdmanis, 2006). La millora d'aquests aspectes no són només objectius per si mateixos, sinó que també són essencials per a l'assoliment d'altres objectius de desenvolupament com la nutrició adequada, la igualtat de gènere, l'educació i l'eradicació de la pobresa (Joint Monitoring Programme, 2015 ). En aquest context, el monitoratge i l'avaluació són fonamentals per a la presa de decisions, ja que els governs, la societat civil i els donants necessiten dades objectives i fiables en les quals basar els mecanismes de planificació, priorització i rendició de comptes.



El 1977, es va celebrar la Conferència de les Nacions Unides sobre l'Aigua a Mar del Plata (Argentina), creant-se com a resultat la primera iniciativa internacional per monitoritzar l'estat i les tendències pel que fa a l'accés a l'aigua i al sanejament. Com a conseqüència d'aquesta conferència, en la qual de forma destacada van participar tant països amb alts ingressos com baixos, es va declarar durant el període 1981 - 1990 la Dècada Internacional de l'Abastament d'Aigua i Sanejament. L'objectiu va ser la provisió universal d'aigua i sanejament segurs. Durant aquest període els governs de cada país van proporcionar estimacions pròpies en el monitoratge del progrés esdevingut. Tot i que l'objectiu de proporcionar aigua i sanejament per a tots no es va complir, es van aprendre importants lliçons. D'una banda, es va qüestionar la fiabilitat de les dades emprades (Cotton & Bartram, 2008). En aquest sentit, es va posar de manifest la necessitat de basar les estimacions en mostres representatives de la població. D'altra banda, es va assenyalar la idoneïtat de definir un marc de monitoratge conjunt des de la perspectiva de "no es pot gestionar el que no es pot mesurar" (Creech et al., 2002, citat per Giné-Garriga, 2015).

En resposta a aquestes necessitats, el 1990, l'Organització Mundial de la Salut (WHO, per les sigles en anglès) i el Fons de les Nacions Unides per a la Infància (UNICEF, per les sigles en anglès) van combinar esforços amb el Programa de Monitoratge Conjunt d'Abastament d'aigua i sanejament (JMP, per les sigles en anglès), on l'objectiu principal va ser i és monitoritzar els progressos nacionals cap a la universalitat de l'accés a l'aigua i al sanejament segurs. Des de llavors, el sector de l'aigua i el sanejament ha experimentat una important transició en la forma d'avaluar l'accés a aquests serveis. Inicialment, s'empraven bàsicament indicadors que quantificaven el mer accés a la infraestructura d'aigua o sanejament en termes de cobertura. Progressivament, el monitoratge del sector es va orientar a realitzar-se en termes més amplis de "nivell o qualitat del servei" en lloc de termes de "cobertura" únicament. De fet, el terme "nivell de servei" ha estat àmpliament discutit i usat per categoritzar i diferenciar entre les qualitats de servei (Lloyd and Bartram, 1991; Howard and Bartram, 2003; Moriarty et al., 2011; Potter et al., 2011 ; Giné-Garriga et al., 2011; Giné-Garriga & Pérez-Foguet, 2013).

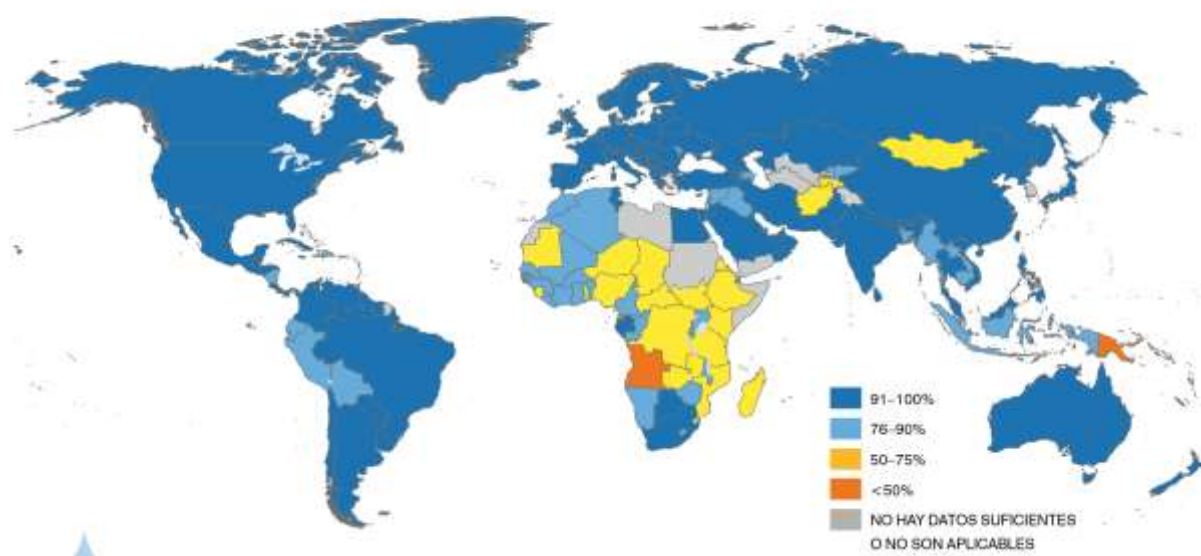
L'any 2000, els estats membres de les Nacions Unides van subscriure la Declaració del Mil·lenni, que va conduir a la formulació dels Objectius de Desenvolupament del Mil·lenni<sup>1</sup> (ODM), on s'instava a la comunitat internacional a reduir a la meitat, pel 2015, la proporció de persones sense accés sostenible a aigua potable i a serveis bàsics de sanejament. Durant la primera meitat d'aquest període, i per tal de millorar la comparació de la informació entre països, el JMP va definir una sèrie de criteris per descriure el progrés en el nivell de servei d'aigua i sanejament. Referint-se a l'accés a l'aigua, i en base a la tecnologia emprada, es van assumir que algunes infraestructures eren millor que d'altres. En

---

<sup>1</sup> Per a més informació consultar: <http://www.un.org/es/millenniumgoals/bkgd.shtml>

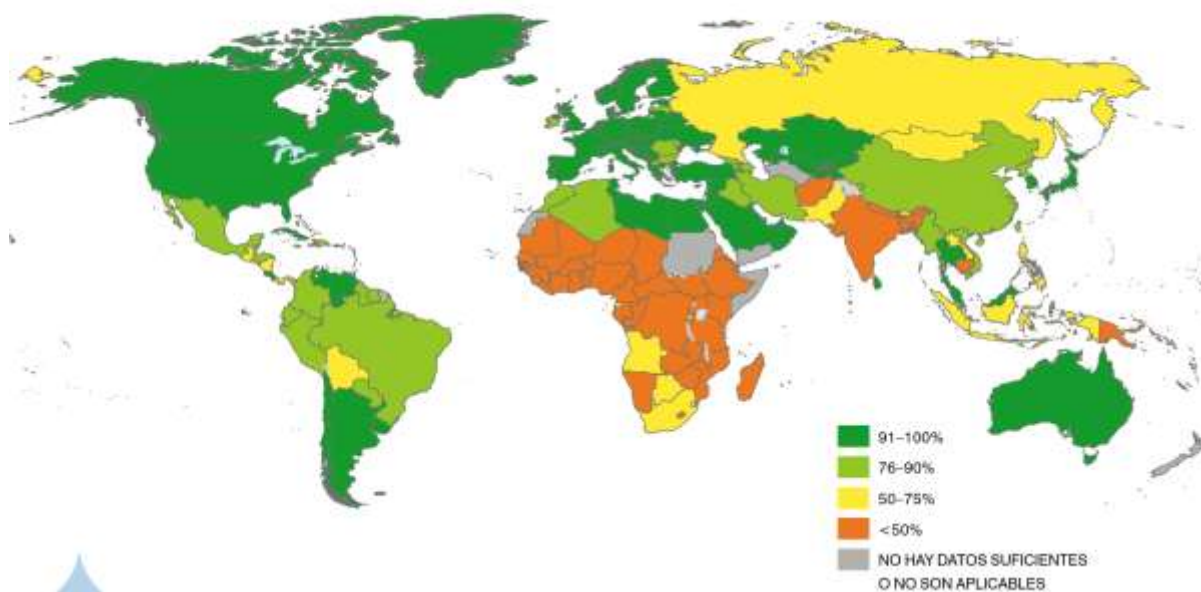
conseqüència, es va proposar una "escala" amb tres esglaons que feien referència a un nivell de servei "no millorat", "millorat" i amb "connexió domiciliar" (Joint Monitoring Programme, 2008). En relació al sanejament, i considerant la gran quantitat de tecnologies existents segons el context, es va definir la idoneïtat (concepte de "millorat") de la infraestructura en tant i quant fos d'ús privat i separés higiènicament l'excreta del contacte humà (Joint Monitoring Programme, 2008). Com a resultat, es va presentar una "escala" amb quatre esglaons: "defecació a l'aire lliure" (nivell inferior), "no millorat", "compartit" i "millorat" (nivell superior). En aquest sentit, únicament aquelles persones amb accés a uns serveis d'aigua i sanejament "millorats" es consideraven "cobertes". Durant el període dels ODM, es van realitzar importants avenços. No obstant això, en 2015, les estimacions reflectien que 663 milions de persones arreu del món encara utilitzaven fonts no millorades d'aigua potable i 2,400 milions de persones utilitzaven instal·lacions de sanejament no millorades. Alhora, s'estimava que el 79% d'aquelles persones que no accedien a aigua millorada es trobaven en zones rurals, on només el 51% accedia a sanejament millorat (Joint Monitoring Programme, 2015).

Todos los países donde menos del 50% de la población utiliza fuentes mejoradas de agua potable pertenecen a África subsahariana y Oceanía



**Figura 1** Proporció de la població que utilitza fonts millorades d'aigua potable el 2015. Font: Joint Monitoring Programme, 2015a.

En 47 países, zonas y territorios, menos de la mitad de la población usa servicios de saneamiento mejorados en 2015



**Figura 2** Proporció de la població que utilitza instal·lacions de sanejament millorades el 2015. Font: Joint Monitoring Programme, 2015a.

El 2010, l'Assemblea General de l'ONU i el Consell de Drets Humans de l'ONU van reconèixer l'aigua i el sanejament com un dret humà (United Nations General Assembly, 2010a; 2010b). Aquests drets humans, tal com es descriuen en les respectives resolucions de l'Assemblea General, es compleixen mitjançant la realització progressiva de l'accés universal a serveis suficients, segurs, físicament accessibles i assequibles (United Nations General Assembly, 2010a, 2010b).

L'any 2015, l'Assemblea General de l'ONU adopta l'Agenda 2030 per al Desenvolupament Sostenible, un pla d'acció a favor de les persones, el planeta i la prosperitat, que també té la intenció d'enfortir la pau universal i l'accés a la justícia . Aquesta agenda estableix 17 Objectius de Desenvolupament Sostenible<sup>2</sup> (ODS) i 169 metes dissenyades per ser universalment pertinents i aplicables a tots els països. Els ODS exigeixen un enfocament integrat pel que fa a les dimensions socials, econòmiques i mediambientals. Igual que en els ODM, els ODS integren un objectiu específic per a l'aigua i al sanejament (ODS 6), que inclou una sèrie de metes que aborden tots els aspectes del cicle de l'aigua i el sanejament, a la vegada que reflecteixen la impregnació del reconeixement de l'aigua i sanejament com a dret humà. Les Figures 3 i 4 plasmen la interpretació normativa de les metes 6.1 i 6.2, que fan referència a l'abastament d'aigua i sanejament.

---

<sup>2</sup> Per a més informació consultar: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

**META 6.1: Para 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable, a un precio asequible para todos.**

TÉRMINOS USADOS EN LAS METAS PROPUESTAS		INTERPRETACIÓN NORMATIVA
Para 2030, lograr	el <b>acceso</b>	Significa que hay agua suficiente para satisfacer las necesidades domésticas a disposición cerca de los hogares.
	<b>universal</b>	Se refiere a todos los entornos y escenarios de cobertura, incluidos hogares, escuelas, centros de salud, lugares de trabajo, entre otros.
	y <b>equitativo</b>	Significa reducir y eliminar progresivamente las desigualdades entre distintos grupos de población.
	<b>al agua potable</b>	Es el agua utilizada para beber, cocinar, preparar alimentos y la higiene personal. El agua potable siempre está libre de agentes patógenos y de niveles más que elevados de compuestos "nocivos" o "dañinos" de productos químicos tóxicos.
	<b>a un precio asequible</b>	El pago por los servicios no representa un obstáculo para el acceso ni impide que las personas satisfagan otras necesidades humanas básicas.
	<b>para todos</b>	Adecuada para su uso por hombres, mujeres, niños y niñas de todas las edades, incluidas personas con discapacidad.

**Figura 3** Interpretació normativa sobre els termes utilitzats a la meta 6.1. Font: Joint Monitoring Programme, 2017.

**META 6.2: Para 2030, lograr el acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones vulnerables.**

TÉRMINOS USADOS EN LAS METAS PROPUESTAS		INTERPRETACIÓN NORMATIVA
Para 2030, lograr	el <b>acceso</b>	Significa instalaciones cerca del hogar a las que es fácil acceder y que son fáciles de usar cuando es necesario.
	<b>equitativo</b>	Significa reducir y eliminar progresivamente las desigualdades entre distintos grupos de población.
	<b>a servicios de saneamiento</b>	El saneamiento son las instalaciones y servicios para la gestión y la eliminación seguras de la orina y las heces humanas.
	<b>e higiene</b>	La higiene se refiere a las condiciones y prácticas que ayudan a mantener la salud y prevenir la propagación de enfermedades; incluye el lavado de manos, el manejo de la higiene menstrual y la higiene de los alimentos.
	<b>adecuados</b>	Se refiere a un sistema que separa de forma higiénica los excrementos humanos del contacto humano y que permite la reutilización o el tratamiento seguros de los excrementos en el lugar, o su transporte seguro a otro sitio designado de eliminación o tratamiento seguro.
	<b>para todos</b>	Adecuada para su uso por hombres, mujeres, niños y niñas de todas las edades, incluidas personas con discapacidad.
	y poner fin a la <b>defecación al aire libre</b>	Defecación en la cual los excrementos de adultos o niños se depositan (directamente o después de cubrirse con una capa de tierra) en un matorral, un campo, una playa o cualquier otro espacio al aire libre; se descargan directamente en un canal de drenaje, un río, el mar o cualquier otro cuerpo de agua; o se envuelven provisionalmente en algún material y luego se desechan.
	prestando especial atención a las <b>necesidades de las mujeres y las niñas</b>	Significa reducir la carga de ir a buscar agua y permitir que las mujeres y las niñas gestionen las necesidades de saneamiento e higiene con dignidad. Se debe prestar especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas en los entornos de "uso intensivo", como las escuelas y los lugares de trabajo, y los entornos de "alto riesgo", como los centros de salud y centros de detención.
	<b>y las personas en situaciones vulnerables</b>	Significa atender las necesidades específicas de ASH de "casos especiales", incluidos campos de refugiados, centros de detención, concentraciones masivas y peregrinaciones.

**Figura 4** Interpretació normativa sobre els termes utilitzats a la meta 6.2. Font: Joint Monitoring Programme, 2017.

En termes de monitoratge, i per tal d'informar sobre els progressos cap a les metes 6.1 i 6.2, es van proposar ampliar les "escales" d'aigua i sanejament esmentades anteriorment. Entre les principals diferències proposades destaquen l'establiment d'un nou líndar o "esglaió" superior per al nivell de servei d'aigua potable i sanejament (denominat "de gestió segura"). Addicionalment, es proposa una "escala" específica per a la higiene (rentat de mans). Així, l'escala d'aigua potable distingeix entre "serveis gestionats de manera segura", "serveis



bàsics", "no millorats" i "aigua superficial" (sense servei). El sanejament, per la seva banda, es desagrega en "serveis gestionats de manera segura", "serveis bàsics", "serveis limitats" (instal·lacions compartides), "no millorats" i "defecació a l'aire lliure". Finalment, l'escala d'higiene informa per separat sobre les "instal·lacions bàsiques", "limitades" (amb aigua, però sense sabó) i "sense instal·lacions". La idea subjacent darrere de la millora dels nivells de servei, no és només augmentar el nombre de persones amb accés, sinó també promoure millores progressives en la qualitat dels serveis, basant-se en els criteris normatius del dret humà a l'aigua i al sanejament (disponibilitat, qualitat, accessibilitat, acceptabilitat i assequibilitat). Per tant, els indicadors utilitzats pel monitoratge han estat dissenyats perquè coincideixin amb la interpretació normativa d'aquest dret tan a prop com sigui possible, reconeixent al mateix temps que alguns elements encara no són possibles de mesurar de forma rutinària. S'ha de posar en relleu que no s'espera que els països copiïn i enganxin els objectius mundials en els plans nacionals. En aquest sentit, l'Agenda 2030 demana als països que fixin les seves pròpies metes nacionals guiades per les ambicions del nivell mundial, però tenint en compte les circumstàncies nacionals. Els indicadors mundials es poden utilitzar fins i tot si les metes nacionals apunten a assolir cert nivell abans del 2030 en comptes d'una cobertura universal. En alguns països on els serveis bàsics encara no són universals, els objectius nacionals poden centrar-se més en els "esglaons" inferiors de les "escales" d'aigua, sanejament i higiene (Joint Monitoring Programme, 2017).

## 2.2. HONDURES, LEMPIRA: CONTEXT DEL CAS D'ESTUDI

La República d'Hondures és un país d'Amèrica, situat al centre-nord d'Amèrica Central. Està limitada al nord i a l'est pel mar Carib, limita al sud-est amb Nicaragua, al sud amb el Golf de Fonseca i El Salvador, i a l'oest amb Guatemala. Hondures es divideix en 18 departaments i aquests en 298 municipis, segons el Cens de 2001. D'altra banda, s'estima l'existència d'aproximadament 3,731 viles i 30,591 caserius.

La població es dedica principalment a activitats agropecuàries, comerç, manufactures, finances i serveis. El territori és molt accidentat, amb altes muntanyes, elevades planures i valls profundes, que alberguen una enorme biodiversitat. Hondures conserva algunes de les millors restes arqueològiques de la cultura maya i bons exemples de l'avançada enginyeria hidràulica dels seus assentaments.



**Figura 5** Mapa polític d'Hondures<sup>3</sup>.

**Taula 1** Informació general. Font: <http://www.presidencia.gob.hn/index.php/honduras/historia>.

INFORMACIÓ GENERAL D'HONDURES	
Nom Oficial	República de Honduras
Capital	Tegucigalpa, MDC
Extensió Territorial	112,492 km <sup>2</sup>
Població	8,630,890 hab. (2015) [INE]
Densitat Poblacional	75 hab. / km <sup>2</sup>
Idioma Oficial	Espanyol
Moneda	Lempira

### Situació actual del sector Aigua i Sanejament

Hondures pertany al grup de l'Amèrica Llatina i el Carib en les avaluacions realitzades pel JMP. Es situa dins d'un dels 16 països que va aconseguir augmentar més de 25 punts percentuals l'accés a aigua corrent a les llars, i reduir més de 25 punts percentuals la

<sup>3</sup> Font: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org); [mapadehonduras.blogspot.com](http://mapadehonduras.blogspot.com)

defecació a l'aire lliure entre 1990 i 2015 (Joint Monitoring Programme, 2015) . Les últimes estimacions proporcionades reflecteixen que:

- Va augmentar del 92 al 97% la població amb fonts millorades en zones urbanes
- Va augmentar del 60 al 84% la població amb fonts millorades en zones rurals
- Va augmentar del 70 al 83% la població amb instal·lacions millorades en zones urbanes
- Va augmentar del 33 al 78% la població amb instal·lacions millorades en zones rurals

Tot i haver assolit les fites proposada pels ODM, segueixen existint importants disparitats entre la població més rica i més pobra, en especial a les zones rurals del país. A més, encara hi ha població que destina més de 30 minuts en cada desplaçament per a anar a buscar aigua potable i continua sent un dels països on la recollida de l'aigua en zones rurals recau principalment sobre les dones.

## **Governança**

El sector d'Aigua Potable i Sanejament (APS) d'Hondures està vivint un procés de canvi profund en base a les seves polítiques de descentralització, les quals estableixen la transferència ordenada dels serveis d'APS a les Municipalitats.

La Llei Marc, aprovada l'any 2003, assenyala la necessitat de readequar el marc legal i institucional del sector APS, a efecte de millorar la planificació, regulació, control i prestació dels serveis. Emmarcat en la política de descentralització de l'Estat, es persegueix assignar un paper protagonista als Governos Municipals i la necessitat de comptar amb una àmplia participació dels sectors socials, el que implica establir mecanismes que propiciïn la participació conjunta de l'autoritat municipal i de la ciutadania. D'aquesta manera, la Llei Marc determina de manera precisa els diferents rols dels actors del sector. S'ha de destacar que els agents nacionals exerceixen les seves competències tant a nivell rural com urbà.

A nivell estatal, el CONASA (Consell Nacional d'Aigua Potable i Sanejament) representa l'ens rector. Principalment, es responsabilitza de la formulació de polítiques, la definició d'objectius i metes, el desenvolupament de les estratègies i plans nacionals, l'elaboració del pla d'inversions, entre d'altres. Com a entitat reguladora de la prestació d'APS es troba el ERSAPS (Ens Regulador dels Serveis d'Aigua Potable i Sanejament) amb independència funcional, tècnica, administrativa i pressupostària. El SANAA (Servei Autònom Nacional d'Aqüeductes i Clavegueram) compleix principalment dos rols entorn al sector aigua i

sanejament rural. D'una banda, com a secretaria tècnica del CONASA en la formulació de polítiques (funcions rectores) i d'altra banda, com a ens d'assistència tècnica i de suport a l'execució de programes rurals. Encara que sense comptar amb una menció específica a la Llei Marc del 2003, cal destacar la presència en el sector, per la seva rellevància i activitat, del Fons Hondureny d'Inversió Social (FHIS), organisme executor del Govern d'Hondures principalment a través de la Unitat Coordinadora del Projecte d'Infraestructura Rural (PIR). Enmarcat en l'objectiu general de reducció de la pobresa rural mitjançant l'accés als serveis d'infraestructura bàsica, els sub-projectes d'aigua potable i sanejament tenen com a meta augmentar la cobertura a l'àrea rural, promoure la sostenibilitat dels serveis i la promoció de la higiene beneficiant a la població dispersa rural no servida.

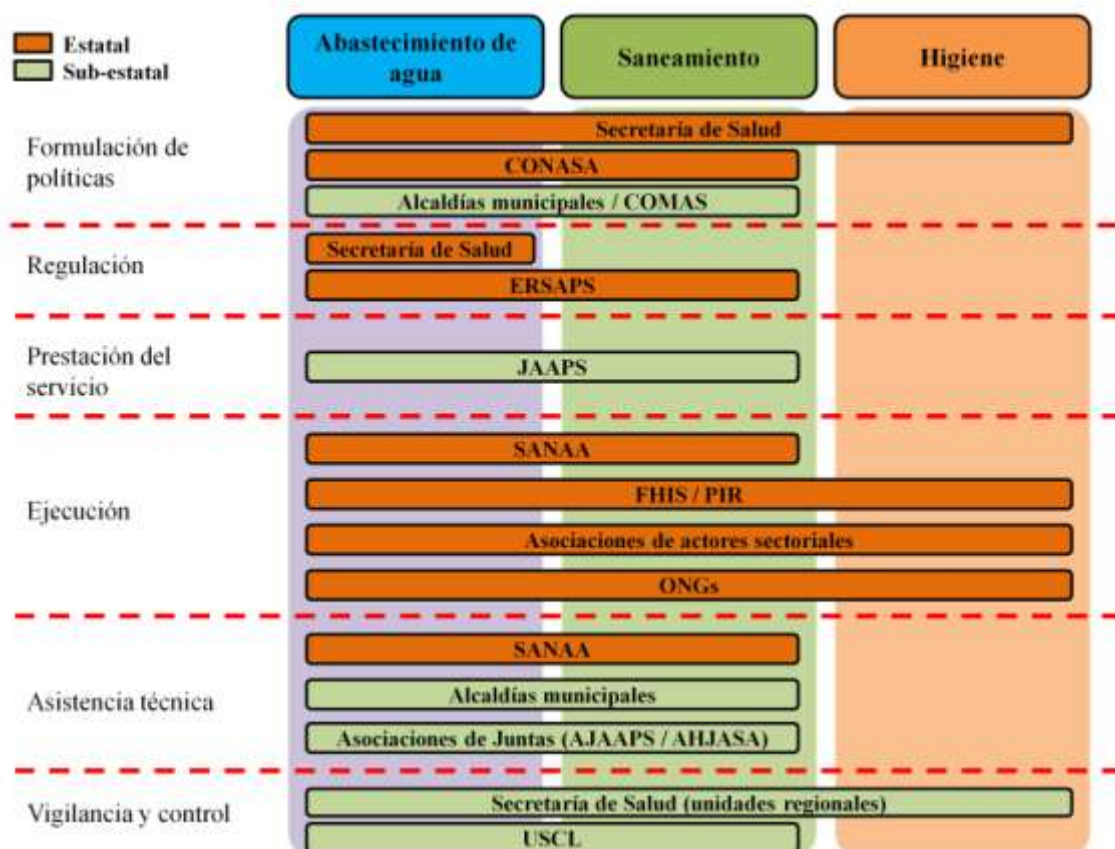
A nivell subestatal, s'han creat les Comissions Municipals d'Aigua i Sanejament (COMAS) per a la implementació de la supervisió i control descentralitzada dels serveis d'APS. És destacable que aquestes COMAS s'integren per veïns i regidors de les alcaldies Municipals. Les seves funcions es centren en aplicar els reglaments en el municipi, basats en les lleis i directrius que formula CONASA. Per la seva banda les Unitats de Supervisió i Control Local (USCL) estan formades per veïns de la comunitat amb la responsabilitat de vigilar el compliment de la Llei i les seves regulacions, comptant amb un tècnic de regulació i control de la municipalitat. En altres paraules, es tracta de l'homòleg al ERSAPS, però a nivell municipal.

En l'àmbit rural, més de 5000 Juntas Administradores d'Aigua Potable i Sanejament (JAAPS) apliquen la gestió comunitària, emmarcades en el Reglament de Juntas Administradores expedit per l'ERSAPS. Les JAAPS es responsabilitzen de l'operació, manteniment i administració dels serveis d'aigua potable, amb la potestat de gestionar la seva personalitat jurídica, establir els seus estatuts, fixar i cobrar tarifes (ERSAPS, 2006).

A la Figura 6 es mostren els principals actors presents en el sector esmentats anteriorment. No obstant això, pot apreciar-se l'existència d'altres agents presents, els quals també tenen un paper destacat en el sector APS hondureny. En aquest sentit, existeixen diversos aspectes a ser esmentats. En primer lloc, tot i la multiplicitat d'actors presents en el sector, s'ha pogut constatar que la comunicació, en termes d'intercanvi d'informació, és insuficient. Aquest és un aspecte clau ja que diversos actors presents, com la Secretaria de Salut, el FHIS / PIR o les ONG, són generadors d'informació. En segon lloc, i pel que fa als processos de presa de decisió que es donen en el sector, es poden distingir dos grups clarament diferenciats. D'una banda, es troben els actors institucionals sobre els quals recau gran part de la responsabilitat de tot el referent als serveis d'APS. Aquests es caracteritzen per un modest recorregut en el sector i una deficiència en l'exercici de les seves funcions. Aquest fet, condiona l'existència de decisions preses que impactin en la situació sectorial actual. Únicament el FHIS (PIR), que compta amb un major suport econòmic, i la Secretaria de Salut exerceixen un paper actiu i integren processos de presa



de decisió ben definits. La tasca del CONASA en la formulació de polítiques municipals també és significativa, tot i que es reconeix l'encara ampli camí per recórrer, sobretot com a institució líder a nivell nacional. D'altra banda, el segon grup fa referència a diversos cooperants externs. Aquest grup es caracteritza, no només per la per la positiva tasca que realitzen en el sector APS, sinó per incorporar processos de presa de decisió clarament precisats. En aquest sentit, és palesa la necessitat de dissenyar estratègies que permetin aprofitar de manera eficient l'esforç que diversos i rellevants actors estan desenvolupant a Hondures.



**Figura 6** Representació dels principals actors del sector d'aigua potable i sanejament a Hondures, tant institucionals com no institucionals, diferenciant els seus àmbits d'acció i competències. Font: Elaboració pròpia, a partir de CONASA, 2013.

### 2.3. SISTEMA D'INFORMACIÓ D'AIGUA I SANEJAMENT RURAL (SIASAR)

El Sistema d'Informació d'Aigua i Sanejament Rural<sup>4</sup> (SIASAR) és una iniciativa conjunta iniciada l'any 2011 pels governs d'Hondures, Nicaragua i Panamà, on l'objectiu estratègic és comptar amb una eina d'informació bàsica, actualitzada i contrastada en relació als serveis d'abastament d'aigua i sanejament rural existents en un país. A l'any 2017 ja són 11 els països que conformen aquesta iniciativa i han designat SIASAR com el sistema d'informació nacional de referència.

Aquest sistema d'informació té com a objectius específics: i) servir de suport a la planificació, coordinació i avaluació de les accions dels diferents actors del sector, ii) monitoritzar la cobertura, qualitat i sostenibilitat dels serveis d'APS rural, iii) registrar l'acompliment dels prestadors d'assistència tècnica, incloent les seves limitacions en la logística, i iv) permetre la transferència de dades estadístiques d'aigua i sanejament i crear així informació amb altres bases de dades sectorials.

La inversió pública en el sector APS dels països d'Amèrica Llatina i el Carib ha estat tradicionalment inclinada cap a la construcció de noves infraestructures, i s'ha prestat poca atenció a altres factors que afecten la sostenibilitat de la prestació dels serveis d'APS (Lockwood et al., 2010). La comprensió d'aquests factors és fonamental per a abordar les deficiències en matèria de sostenibilitat i per millorar el desenvolupament de polítiques, la planificació sectorial, la fixació de prioritats, l'assignació pressupostària, el disseny de projectes i la prestació d'assistència tècnica.

Aquesta idea central va portar als països a dissenyar i consensuar un conjunt d'instruments de monitoratge (enquestes) per analitzar la qualitat i sostenibilitat dels serveis des de diferents perspectives: i) la comunitat; ii) el sistema d'aigua; iii) el prestador de serveis; i iv) el prestador d'assistència tècnica. Addicionalment, aquesta iniciativa incorpora metodologies i eines que combinades permeten abordar tots els aspectes relacionats amb l'aixecament d'informació (captació, edició i validació de dades), el seu processament i anàlisi, i finalment, l'ús d'aquesta informació a través de l'aplicació web i generació d'informes.

Un dels aspectes més destacats de SIASAR és la forma en què s'organitzen i analitzen les dades recopilades (Pérez-Foguet & Flors-Baquero, 2015). En el que s'anomena com a "model conceptual", es defineixen sis dimensions agregades per a avaluar els serveis d'aigua i sanejament des de punts de vista diferents, però complementaris. L'objectiu d'aquesta estructura és mantenir el focus dels diferents aspectes, que caracteritzen el

---

<sup>4</sup> Per a més informació consultar: <http://siasar.org/es>

sector cada vegada més descentralitzat. El motiu és que, en la pràctica, els rols i responsabilitats de les qüestions sectorials d'APS són assumits per diferents actors (Giné-Garriga & Pérez-Foguet 2013, 2013b).

Les dimensions esmentades proposen mesurar: i) el Nivell de Servei d'Aigua (NSA), ii) el Nivell de Servei de Sanejament i Higiene (NSH), iii) la prestació de servei en Escoles i Centres de Salut (ECS), iv) l'Estat de la Infraestructura d'Aigua (EIA), v) la Prestació de Servei (PSE), i vi) la Prestació d'Assistència Tècnica (PAT). Addicionalment, aquestes dimensions s'agrupen en dos índexs parcials: i) Nivell de servei d'Aigua, Sanejament i Higiene (NASH), i ii) Índex de Sostenibilitat dels Serveis d'Aigua (ISSA). Aquests índexs parcials persegueixen mantenir el focus en aspectes relacionats amb la qualitat i sostenibilitat dels serveis, identificats per tots els països membres. Finalment, un últim nivell està representat per l'Índex d'acompliment dels serveis d'Aigua i Sanejament (IAS, o WSP per les sigles en anglès). Aquests últims índexs proporcionen un mitjà per iniciar la discussió i estimular l'interès públic. Tots aquests elements introduïts es presenten a la Taula 2.

**Taula 2** Model conceptual de SIASAR; components, dimensions, índexs parcials i índex general.

Font: Requejo-Castro et al. (2017).

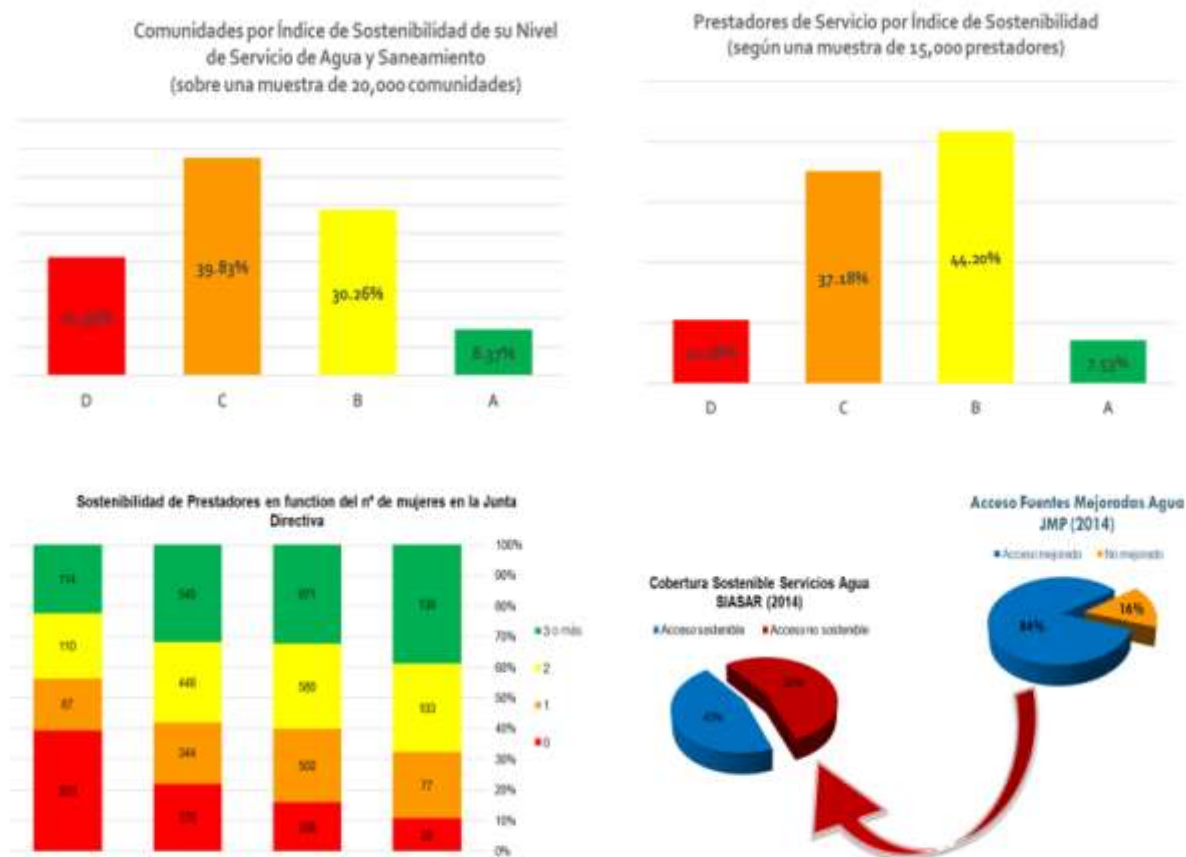
<b>WSP o IAS</b> (Índex d'acompliment dels serveis d'Aigua i Sanejament)	
<b>NASH (Nivel de servei d'Aigua, Sanejament i Higiene)</b>	<b>ISSA (Índex de Sostenibilitat dels Serveis d'Aigua)</b>
<p><b>Nivell de Servei d'Aigua (NSA)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Accesibilitat</li> <li>Continuïtat</li> <li>Estacionalitat</li> <li>Qualitat</li> </ul>	<p><b>Estat de la Infraestructura d'Aigua (EIA)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Autonomia</li> <li>Infraestructura</li> <li>Zona Protecció d'Abastament</li> <li>Estat Infraestructura Tractament</li> </ul>
<p><b>Nivell de Servei de Sanejament i Higiene (NSS)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nivell de Servei de Sanejament</li> <li>Higiene Personal</li> <li>Higiene a la Llar</li> <li>Higiene Comunitària</li> </ul>	<p><b>Prestador de Servei (PSE)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gestió Organitzacional</li> <li>Gestió en Operació i Manteniment</li> <li>Gestió Econòmica i Financera</li> <li>Gestió Ambiental</li> </ul>
<p><b>Escoles i Centres de Salut (ECS)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aigua Potable Millorada en Escoles</li> <li>Sanejament Millorat i Higiene en Escoles</li> <li>Aigua Potable Millorada en C. Salut</li> <li>Sanejament Millorat i Higiene en C. Salut</li> </ul>	<p><b>Prestador d'Assistència Tècnica (PAT)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema d'Informació</li> <li>Capacitat Institucional</li> <li>Cobertura Comunitària</li> <li>Intensitat de l'Assistència</li> </ul>

De forma resumida, tal com es reflecteix detalladament en Requejo-Castro et al. (2017), cada dimensió comprèn quatre components. A la vegada, cada component és alimentada per una breu llista d'indicadors individuals, comptabilitzant-ne un total de 109. Pel que fa a la metodologia emprada per a processar la informació, primerament els indicadors es classifiquen d'acord amb el model conceptual descrit anteriorment. Atès que les dades recollides es representen sovint en diferents escales (percentatge de sistemes amb tractament adequat de l'aigua, distància a la font en metres, continuïtat del servei en hores per dia, etc.), s'han de normalitzar abans del seu anàlisi. D'aquesta manera, s'assigna una puntuació entre 0 i 1 per a cada paràmetre, on 1 representa la millor situació i 0 el pitjor dels casos. Finalment, els components es defineixen mitjançant funcions d'utilitat simples i fàcils d'utilitzar. A continuació, els diferents components de cada dimensió s'agreguen en un sol valor. En aquest sentit, s'ha d'esmentar que l'acord final assolit pels països atorga el mateix pes a totes les components, dimensions i índexs. Addicionalment, es fa servir un mètode d'agregació additiu per a la construcció de les diferents dimensions (permet la compensació entre components) i una agregació geomètrica per a la definició d'índexs parcials i general. Finalment, per tal de facilitar la priorització i la presa de decisions, els resultats obtinguts es fan més comprensibles per als usuaris finals i les parts interessades, al vincular components, dimensions i índexs a un conjunt definit de categories (sent A el millor resultat, B, C i D, el pitjor). Aquestes categories es defineixen d'acord amb els següents intervals: A [1 - 0,9], amb els dos límits inclosos, B (0,9-0,7], C (0,7-0,4] i D (0,4 -0].

Si bé els indicadors que integren el model conceptual difereixen en certa mesura amb els proposats per monitoritzar els ODS, s'ha de destacar que SIASAR visualitza la necessitat d'alinejar-se amb els sistemes de monitoratge internacionals. En aquest sentit, s'està duent a terme una revisió exhaustiva dels qüestionaris per a l'aixecament d'informació, per tal d'adaptar-los als elements clau de monitoratge dels ODS (Requejo-Castro et al., 2017).

Amb tot el que s'ha exposat, i amb la Figura 7 com a exemple, es presenten alguns resultats preliminars obtinguts a partir de la informació recollida en els diferents països. D'una banda, es pot observar que la sostenibilitat dels serveis d'APS a les comunitats (índex general IAS) només s'avalua com a tal en un 8% i 31% dels casos, obtenint una classificació de A i B, respectivament. Val a dir que quan s'arriba a una classificació C o inferior, implica la necessitat d'ajuda externa, cosa que no s'associa a una situació sostenible. Fixant l'atenció als prestadors de servei (JAAPS), aquells amb un índex parcial ISSA que obté una classificació de A o B, ascendeixen gairebé fins al 52%. Una altra dada interessant resideix en la constitució de la Junta Directiva d'aquelles JAAPS qualificades com A o B. En el primer dels casos, en el 68% de les JAAPS la Junta Directiva compta amb la participació de 2 o més dones (sent 7 el nombre de membres estipulat per llei). En el segon dels casos (qualificació B), aquesta mateixa situació es redueix al 60%, però continua sent significatiu. Un últim aspecte a destacar, és la diferència entre SIASAR i el JMP, referint-se a l'accés a aigua. El primer té un enfocament més restrictiu en considerar altres aspectes més enllà de

l'accés. Com a conseqüència, el JMP en 2014 estimava que, a Honduras, el 16% de la població no accedia a fonts d'aigua millorades; però per la seva banda, les estimacions de SIASAR, enfocades a l'accés a serveis sostenibles, incrementaven aquest número al 55% de la població rural.



**Figura 7** Resultats preliminars basats en la informació de SIASAR. Font: World Bank, 2017; SIASAR 2014; JMP 2014.

En l'actualitat, i després de 6 anys participant en la iniciativa SIASAR, Honduras té informació exhaustiva de 3,869 comunitats (55% del nombre total de comunitats rurals estimades), 3,123 sistemes d'aigua associats i 2,585 JAAPS (prestadors de servei). Aquestes xifres posen de manifest un dels reptes més importants als quals s'enfronten els països de la iniciativa SIASAR. Sens dubte, l'aixecament d'informació és una etapa crucial i porta associat la necessitat d'importants recursos humans i logístics. No només obtenir la informació és un desafiament, sinó que l'actualització d'aquesta afegix més dificultat a aquesta tasca.

En el cas particular del Departament de Lempira, s'està treballant en la definició del Pla Operatiu Anual (POA) pel 2017. En aquest Pla, es pretén recopilar els resultats de l'any 2016 per a definir les accions a executar durant l'any 2017. D'aquesta forma, en base a la

informació obtinguda a través d'SIASAR es persegueix la definició d'estratègies per a enfortir l'efectivitat en els processos de presa de decisió. En altres paraules, convertir índexs en valoracions per a actuar.

Com a exemple més específic, el municipi de Piraera a Lempira, es troba immers en la gestió d'un procés participatiu entre diferents actors (alcaldia municipal, societat civil i JAAPS) amb l'objectiu d'elaborar un diagnòstic i anàlisi de la situació de l'aigua i el sanejament. Aquest context sembla propici per explotar SIASAR com a eina de suport per a la presa de decisions, per tal de desenvolupar un pla estratègic municipal d'aigua i sanejament. Aquest objectiu, encara que de forma simplificada, serà la part central del cas d'estudi que es presenta.

## 2.4. L'ESTADÍSTICA COM A EINA PER A L'ANÀLISI DE DADES

Per a monitoritzar el compliment dels ODS en general, s'ha presentat la necessitat de definir indicadors per mesurar el progrés o retrocés en la consecució de les metes proposades. La gestió de la informació és de gran importància per a la presa de decisions, ja que permet identificar situacions i tendències indesitjables, amb l'objectiu de poder establir, en última instància, mesures contra aquestes.

Treballar amb grans volums de dades requereix l'ús d'eines estadístiques per tal d'elaborar anàlisis objectives i assequibles i, finalment, utilitzar la informació i els resultats per facilitar i donar suport als processos de presa de decisió. En aquest cas d'estudi es proposa l'ús del programari R que és un entorn de desenvolupament integrat (IDE) de lliure accés.

Pel que fa a la informació amb la qual es treballarà, es pren com a referència una base de dades de 412 comunitats que pertanyen al Departament de Lempira (Hondures). Com ja s'ha esmentat anteriorment, aquesta informació es recull a terreny a través dels qüestionaris de SIASAR. D'aquestes comunitats, i amb l'objectiu de simplificar la feina a realitzar, es treballaran amb 19 indicadors (variables originals) relacionats tant amb les característiques de les comunitats, com amb els serveis d'aigua i sanejament i amb els prestadors de servei associats a aquestes comunitats<sup>5</sup>.

És fonamental reconèixer que per treballar amb grans volums de dades, i especialment aquelles obtingudes a través de qüestionaris o enquestes, és necessari un pre-procés de les dades perquè el contingut de la informació sigui fàcilment accessible i manejable.

---

<sup>5</sup> La informació amb la que es treballa és un extracte de la base de dades disponible a <http://doi.org/10.5281/zenodo.571351>



Específicament, es fa referència a la correcció de dades incompletes o inconsistents, a través de l'eliminació de duplicats, anomalies i dades atípiques, o la recuperació d'informació incompleta.

En aquest cas d'estudi, les dades que es faciliten ja es troben pre-processades, el que inclou l'eliminació de comunitats amb variables que prenguin valors NA ("No Answer"), zeros quan no correspon o errors en els valors, com per exemple especificar més de 24 hores de servei al dia. Com a resultat, el nombre de comunitats inicialment seleccionades es redueix a 386 comunitats que conformen 22 dels 28 Municipis de Lempira, considerant-se aquestes una mostra representativa del Departament de Lempira.

En aquest cas d'estudi, en particular es treballaran temes d'estadística bàsica univariant com:

- Càlcul de descriptius típics en variables quantitatives (mitjana, coeficient de variació, mediana, quartils, mínims i màxims, coeficient d'asimetria de Fisher i test de normalitat de Shapiro-Wilk i Pearson Chi-quadrat);
- Construcció d'indicadors simples, basats en operacions bàsiques entre variables disponibles dotant-los de contingut interpretatiu;
- Transformació i normalització de les variables. Aquestes tècniques s'utilitzaran per facilitar interpretacions i aplicacions de mètodes més endavant.

També es treballen conceptes d'estadística multivariada com:

- Càlcul de matrius de correlació i covariància;
- Anàlisi de Components Principals (ACP), que és una tècnica utilitzada per reduir la dimensionalitat d'un conjunt de dades. Concretament, es converteix un conjunt d'observacions de variables possiblement correlacionades entre si, en un conjunt d'observacions expressades en noves variables no correlacionades entre si, anomenades Components Principals<sup>6</sup>; això s'aconsegueix diagonalitzant la matriu de correlacions o la de covariàncies;

---

<sup>6</sup> Informació addicional es podrà trobar a Kottegodu i Rosso (2009) - Capítols 1, 5 i 6 -, Maindonald i Braun (2010) - Capítols del 2 al 4 i 12 -, Ross (2014) - Capítols 2, 7 i 8 -, Ugarte et al. (2015) - Capítols 2 i del 7 al 10 -.

- Aplicació d'una rotació ortogonal (Varimax) per redistribuir variàncies en un subespai determinat per a una part de les Components Principals, de manera que les components rotades, anomenades Factors, interpretant el procediment de les tècniques d'Anàlisi Factorial, depenguin fortament d'un nombre mínim de les variables originals<sup>7</sup>;
- Regressió lineal múltiple, utilitzada per aproximar una variable dependent en funció dels valors d'unes variables predictorres<sup>8</sup>;
- Definició d'índexs relacionats amb la variància (Tècniques no supervisades) i basats en informació valorativa subministrada (Tècniques supervisades).

### 3. ACTIVITAT A L'AULA

Aquesta activitat s'estructura en dos grans blocs:

**Bloc I.** Es treballarà en petits grups de 3 o 4 persones. La durada d'aquesta activitat s'estima en 1 hora, dels quals 30 minuts seran de discussió en grup; i 30 minuts de discussió general. Es suggereix que el docent actuï de moderador. Per facilitar el desenvolupament d'aquest bloc i de les següents activitats, es recomana que l'alumnat disposi de tota la informació exposada en la secció 2 del cas d'estudi. Idealment, es recomana facilitar la contextualització del cas d'estudi amb anterioritat al desenvolupament de les activitats, amb la finalitat de proporcionar un temps adequat per a la seva lectura.

**Bloc II.** Es tracta d'un taller guiat pel docent, en què el treball serà individual per part de l'alumnat. S'estima que la durada d'aquest bloc és de 2 hores. En aquest sentit, queda a elecció del docent si dur a terme el taller en una o dues sessions. El taller consisteix a observar i replicar pas a pas el codi de programació que es facilita. Un cop replicat el codi, comprenent què es realitza en cada pas i proporcionant la interpretació a cada resultat lliurat, es procedirà a realitzar una discussió grupal al voltant del context de Lempira (Hondures), i en relació a la importància de la informació (disponibilitat de dades) a l'hora de planificar i prendre decisions.

---

<sup>7</sup> Més informació sobre rotacions i la seva interpretació geomètrica a: Tucker i MacCallum (1997) - Capítols 8 i 9 - , Kottegoda i Rosso (2009) - Capítol 7 -. Per aprofundir sobre índexs relacionats amb la variància, selecció de variables i pesos recórrer a Nardo et al. (2005) - Capítol 2-.

<sup>8</sup> Més informació sobre models de regressió en Kottegoda i Rosso (2009) - Capítol 6 -, Maindonald i Braun (2010) - Capítols del 5 al 7 -, Ross (2014) - Capítol 9 i 10 -, Ugarte et al. (2015) - Capítol 12-.



Per a la implementació del taller guiat, es facilita una guia composta de 4 parts, cadascuna amb un objectiu diferent. El material necessari per al taller guiat es facilita en forma d'Annexos i amb la següent nomenclatura:

- A.I\_Cas\_Estudi\_G.pdf → Guia de procediment en R.
- A.II\_CE\_guiado.R → Codi de procediment en R.
- A.V\_datos\_CS.RData → Dades inicials per comunitats.
- A.VI\_WSP\_CS.RData → Dades addicionals de valoració numèrica, per a la part II.

## BLOC I

L'objectiu d'aquesta primera activitat persegueix sensibilitzar i conscienciar de la importància que implica accedir a serveis d'aigua i sanejament adequats. Alhora, també persegueix posar en valor la rellevància de monitoritzar el progrés en matèria d'aigua i sanejament per a donar suport en els processos de presa decisió (juntament amb les dificultats que comporta). En aquest sentit, i després d'haver presentat el contingut teòric d'aquest cas d'estudi, es proposa reflexionar i respondre a les següents qüestions:

1. En primer lloc, es proposa emplenar la taula adjunta indicant els impactes directes i indirectes associats a la privació dels aspectes proposats. No obstant això, l'alumnat pot afegir qualsevol altre aspecte si ho considera oportú. Els impactes poden identificar-se des de diferents perspectives com la salut, el desenvolupament o el medi ambient, entre d'altres.

ASPECTE (Privació)	IMPACTES DIRECTES	IMPACTES INDIRECTES
<b>Qualitat d'aigua</b> (presència de contaminants)		
<b>Disponibilitat</b> (hores de servei al dia)		
<b>Assequibilitat</b> (tarifa d'aigua abonada)		
<b>Accessibilitat a l'aigua</b> (cobertura)		
<b>Accessibilitat al sanejament</b> (cobertura)		

**Igualtat de gènere**  
(presència de la dona en Juntas  
Directives)

2. Quins aspectes positius i negatius consideres que hi ha associats amb el desenvolupament de sistemes de monitoratge globals? I quins aspectes positius i negatius consideres que hi ha en el fet que d'altres sistemes d'informació s'alineïn amb aquestes iniciatives globals (p.e. SIASAR)?
3. En el context específic d'Hondures, és visible que l'obtenció d'informació és uns dels reptes més importants del sector. Quines iniciatives proposes per facilitar aquesta tasca?
4. La política de descentralització dels serveis d'APS a Hondures està cedint la responsabilitat de prestació i gestió a les municipalitats, on l'assumeixen grups de la societat civil amb escassa o modesta preparació. Com proposes que s'ha d'afavorir aquesta transició?

## BLOC II

L'objectiu d'aquest bloc recau en introduir a l'alumnat les directrius bàsiques per utilitzar el programari específic proposat. En paral·lel, es pretén discutir la interpretació dels resultats obtinguts, enfocats en el context del Departament de Lempira (Hondures).

### Part 0

1. Amb les variables disponibles, construir indicadors simples (mínim 6) que permetin avaluar la situació de les comunitats.
2. Realitzar una anàlisi descriptiva bàsica que permeti caracteritzar el comportament de cada un dels indicadors, reflexionant sobre la necessitat de transformar-los i / o normalitzar-los.
3. Realitzar una anàlisi descriptiva, aquest cop multivariant, que permeti identificar possibles relacions entre indicadors a través de gràfics i la matriu de correlació.
4. Desar la base de dades amb els indicadors construïts per utilitzar-la en l'activitat següent.

## Part I

1. Realitzar una Anàlisi de Components Principals, decidir amb quantes components treballar i identificar indicadors significatius.
2. Construir índexs basats en la variància, segons la direcció de les components principals, i tot seguit aproximar la variància total mitjançant l'agrupació de components.

## Part II

1. Amb la valoració numèrica WSP (A.VI\_WSP\_CS.RData) disponible, realitzar una Regressió Lineal Múltiple successives vegades per identificar els indicadors de major influència sobre WSP.
2. Construir un índex basat en el model lineal generat.

## Part III

Respondre les següents preguntes en base al treball previ:

1. Quins són els indicadors (variables) que resulten ser els més influents en aplicar l'ACP? I en aplicar la RLM? Són els mateixos, coincideixen? Per respondre a aquestes preguntes, recolzar-se en la taula de coeficients alfa.
2. Hi ha alguna relació entre els índexs construïts (I1, I2, IMV, IWSP)? Es recomana emprar els gràfics de punts com a ajuda.
3. Quins impactes a nivell d'aixecament d'informació tindria en la pràctica la reducció de variables?
4. En quines comunitats s'hauria d'incidir primer? Quins criteris serien més convenients utilitzar: els índexs construïts, que intenten recollir les variables "rellevants"; o només aspectes de cobertura? Per justificar la resposta, es proposa generar rànquings que permetin visualitzar les comunitats pitjor avaluades.

### 3.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVALUACIÓ

#### Solució Bloc I

S'ha de tenir en compte que les respostes que poden tenir lloc són obertes. A continuació, s'ofereixen algunes possibilitats per tal de guiar al docent (moderador) en la posada en comú final.

1. En primer lloc, es proposa emplenar la taula adjunta indicant els impactes directes i indirectes associats a la privació dels aspectes proposats.

ASPECTE (Privació)	IMPACTES DIRECTES	IMPACTES INDIRECTES
<b>Qualitat d'aigua</b> (presència de contaminants)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Afectació a la salut humana (fins i tot la mort)</li> <li>- Deteriorament ecosistemes (contaminació)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificultat per a desenvolupar capacitats (augment de pobresa); Augment en la despesa destinada a la salut</li> <li>- Disminució de recursos per a la subsistència (disminució de la seguretat alimentària i augment de la pobresa)</li> </ul>
<b>Disponibilitat</b> (hores de servei al dia)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No es poden satisfer les necessitats quan es necessita de beure, cuinar, higiene, rentar aliments i roba</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inversió econòmica en dipòsits domiliaris, per exemple, per a l'emmagatzematge</li> </ul>
<b>Assequibilitat</b> (tarifa d'aigua abonada)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Discriminació sobre els sectors de la població més desfavorables</li> <li>- Possible generació de conflictes socials</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificultat per a accedir a altres serveis; Increment de la bretxa entre els que més tenen i els que menys</li> <li>- Augment de la bretxa amb les institucions públiques o agents responsables de la gestió del servei; Disminució de la participació ciutadana</li> </ul>
<b>Accessibilitat a l'aigua</b> (cobertura)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No es pot garantir el consum d'aigua necessari, en el cas que la font es trobi molt lluny (beure, cuinar, higiene, rentar aliments i roba)</li> <li>- Increment de la inseguretat (sobretot quan dones i nenes recullen aigua i quan les distàncies són grans)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificultat per al desenvolupament d'activitats vitals i econòmiques</li> <li>- Possibilitat d'augmentar les agressions a nenes i dones</li> </ul>
<b>Accessibilitat al sanejament</b> (cobertura)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Afectació a la salut humana</li> <li>- Deteriorament de l'entorn comú (hàbitat)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificultat per a desenvolupar capacitats; Augment en la despesa destinada a la salut; Falta de conscienciació sobre pràctiques higièniques</li> <li>- Proliferaçió de malalties paràsites i patògens infecciosos; Pèrdua valor eco-turístic (impacte econòmic)</li> </ul>

<b>Igualtat de gènere</b> (presència de la dona en Juntes Directives)	- Discriminació de la dona en la presa de decisions - Disminució de les possibilitats d'empoderament	- Foment del patriarcat i la dependència de la dona - Continuïtat de les desigualtat de gènere
--------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------

**2.** Quins aspectes positius i negatius consideres que hi ha associats en el desenvolupament de sistemes de monitoratge globals? I quins aspectes positius i negatius consideres que hi ha en el fet que d'altres sistemes d'informació s'alineïn amb aquestes iniciatives globals (p.e. SIASAR)?

Com a aspectes positius es pot destacar, en primer lloc, la comparació de dades globals a través d'indicadors comuns. D'aquesta manera, i parlant "un mateix idioma" es poden identificar aquells països o regions que requereixen d'una major atenció. En segon lloc, l'establiment de metes internacionals ha sigut un fet que ha estat precursor de polítiques i estratègies nacionals amb l'objectiu de millorar la situació sectorial. En tercer lloc, i relacionat amb el primer punt, és rellevant la visualització de l'estat del sector, tant per a fomentar la iniciativa dels països per millorar, com per a estimular la cooperació internacional.

Com a aspectes negatius, es pot esmentar la dificultat que comporta per a alguns països l'obtenció i actualització de la informació proposada. D'altra banda, la definició d'indicadors "senzills" pot deixar fora altres aspectes rellevants que afavoreixin la identificació d'aquells sectors de la població més desfavorables. Encara que s'ha de reconèixer que obtenir informació més detallada implica un augment de costos que dificultaria encara més la capacitat d'alguns països.

L'alineació d'altres sistemes de monitoratge resulta rellevant per contribuir al monitoratge de les metes internacionals. Sens dubte, la possibilitat d'obtenir informació compatible amb la proposta a nivell internacional afavoriria un monitoratge més precís i fiable. Dades d'aquest tipus són l'eix central de qualsevol sistema d'informació que afavoririen els aspectes positius esmentats anteriorment. No obstant això, altres sistemes d'informació poden tenir interessos específics que no contempla la proposta a nivell global. Aquesta consideració no hauria de representar cap problema, ni tampoc hauria de limitar altres interessos i metes nacionals.

**3.** En el context específic d'Hondures, és visible que l'obtenció d'informació és uns dels reptes més importants del sector. Quines iniciatives proposes per facilitar aquesta tasca?

Com s'ha exposat, hi ha multiplicitat d'actors dels quals, alguns d'ells, són generadors d'informació. En part, això és possible gràcies a la disponibilitat de recursos humans i logístics que uns actors compten però d'altres no. Alhora, s'ha posat de rellevància la deficiència existent pel que fa a l'intercanvi d'informació. Per tant, la creació d'un sistema

d'informació comú que integri una sèrie d'indicadors d'interès consensuats, podria ser un primer pas a donar. Un sistema d'informació que qualsevol usuari pugui accedir. D'aquesta forma, una informació comuna podria ser obtinguda en terreny pels diferents actors existents. En aquest sentit, els importants costos associats a aquesta tasca podrien ser compartits de forma col·laborativa i dins de les possibilitats de cada actor.

4. La política de descentralització dels serveis d'APS a Hondures està cedint la responsabilitat de prestació i gestió a les municipalitats, on l'assumeixen grups de la societat civil amb escassa o modesta preparació. Com proposes que s'ha d'afavorir aquesta transició?

Un dels primers aspectes a tenir en compte és la preparació o capacitat dels actors presents en les municipalitats. Considerant aquesta com a escassa, una primera aproximació pot recaure en capacitar els agents locals. Però això no seria suficient, si no es capacites també a les institucions públiques locals. L'objectiu principal és millorar la implicació d'aquestes institucions en la regulació, supervisió i suport en la gestió dels serveis. No obstant això, capacitar o formar es tracta d'un procés gradual, per tant, seria necessària una assistència tècnica per part de professionals durant cert període de temps. Alhora, s'haurien d'establir mecanismes de participació ciutadana i rendició de comptes, per tal de fomentar la conscienciació sobre l'aigua i el sanejament i la transparència. Una altra iniciativa interessant seria l'articulació d'espais de discussió i debat on es pugui compartir i aprendre de les experiències dels altres.

## **Solució Bloc II**

La solució numèrica de l'activitat proposada, inclosa la discussió de resultats, es troba en el document adjunt sota el nom de "Cas\_Estudi\_G.pdf". Cal esmentar que aquesta solució no és única, deixant a disposició de l'alumnat la construcció dels seus propis indicadors o bé definir criteris diferents als proposats.

En tot cas, en aquesta solució que es proporciona es pot comentar que tant per l'ACP com per a la RLM es descarten 3 de les 7 variables. Això implica una reducció significativa en termes de temps i costos si les variables considerades no intervenen en l'aixecament de la informació. No obstant això, i tot i que tots dos mètodes reconeixen com a rellevants les mateixes 4 variables (indicadors de cobertures i ràtios), la importància relativa de cadascuna d'aquestes és diferent per a cada mètode. Per tant, en funció del tipus d'informació disponible (dades i / o valoració qualitativa) poden variar els aspectes o variables més destacats a considerar. Des d'un punt de vista de planificació d'actuacions, les comunitats en situacions més deficientes es poden identificar segons una nova proposta d'índexs (IMV i IWSP), que incorpora més informació a les avaluacions típiques de cobertura. De forma estesa, i al llarg de molts anys, les decisions d'inversió en el sector aigua i sanejament han

estat preses en base als percentatges de cobertura, deixant sense considerar aspectes importants propis del prestador del servei i de la qualitat del servei.

### **Criteris d'avaluació**

Amb l'objectiu de proporcionar un sistema d'avaluació objectiu i transparent a l'alumnat, es proposa l'ús de la rúbrica facilitada (veure Annex IX). En aquest sentit, la rúbrica mostra i) els coneixements que es desitja que l'alumnat adquireixi; i ii) els criteris que s'empraran per avaluar el contingut de la resolució associat a les activitats plantejades.

La forma d'utilitzar la rúbrica proposta parteix del coneixement previ de la mateixa per part de l'alumnat i professorat. És a dir, s'ha d'informar dels continguts que s'avaluaran. D'aquesta forma, es considera que es proporciona una guia a l'alumnat per enfocar les activitats proposades.

D'una banda, per avaluar el Bloc I, cada grup conformat haurà de lliurar per escrit les respostes a les qüestions plantejades. Aquestes respostes s'avaluaran recolzant-se en la rúbrica proposada. No obstant això, el docent és lliure de triar un mètode alternatiu d'avaluació si ho creu convenient.

D'altra banda, el Bloc II no serà avaluat al tractar-se d'un taller guiat, l'objectiu del qual és proporcionar els coneixements necessaris per desenvolupar l'activitat autònoma que es planteja.

## **4. ACTIVITAT AUTÒNOMA FORA DE L'AULA**

En aquesta activitat es treballarà en petits grups de 3 o 4 persones, podent repetir els mateixos grups de treball que en l'activitat anterior (major facilitat a l'hora d'avaluar les activitats plantejades en conjunt). S'espera que la durada de l'activitat pugui assolir unes 8 o 10 hores de treball. Bàsicament, consisteix a aplicar la metodologia mostrada al taller guiat, amb la dificultat d'incorporar a l'anàlisi una classificació G1 i G2 de les comunitats, obligant a realitzar l'anàlisi per partida doble de manera independent.

L'activitat proposada integra la generació de codi i la interpretació de resultats simultàniament. En aquest sentit, l'enunciat facilitat en aquesta secció facilitarà el desenvolupament de l'activitat de forma ordenada, a través de diferents suggeriments i preguntes. El material necessari es proporciona en forma d'Annexos i sota la següent nomenclatura:

- A.VII\_IND\_CS.RData<sup>9</sup> → Dades inicials, indicadors simples construïts a l'Activitat a l'aula.
- A.VIII\_CLAS\_G12\_CS.RData → Dades de classificació de comunitats en G1 o G2.
- A.VI\_WSP\_CS.RData → Dades addicionals de valoració numèrica, per a la part II.

L'objectiu d'aquesta activitat persegueix que l'alumnat treballi de forma autònoma amb el programari estadístic proposat, analitzant i interpretant els resultats obtinguts per al cas d'estudi facilitat. Per a tal fi, es recomana seguir de manera ordenada les pautes que es detallen a continuació, així com contestar a les preguntes plantejades:

## Part 0

1. Carregar les dades guardades de la Part 0 del treball guiat realitzat a l'aula (A.VII\_INS\_CS.RData), que corresponen als indicadors simples construïts, transformats i normalitzats per a les 386 comunitats estudiades.
2. Carregar les dades de la classificació G1-G2 (A.VIII\_CLAS\_G12\_CS.RData) de les comunitats i incorporar aquesta classificació com una columna addicional a la base de dades prèviament carregada (identificador comunitat, 6 indicadors simples i classificació G1-G2). Quantes comunitats de cada classe hi ha? Identificar les diferències respecte els indicadors que caracteritzen cada grup. Emprar gràfics de punts i diferents colors segons la classe.
3. Aplicar la funció resum construïda en l'activitat anterior per a les comunitats G1 i G2 per separat. Què mostra aquest resum? Es pot concloure que les comunitats G1 estan "millor" valorades que les comunitats G2? Representar histogrames i boxplots de totes les variables per a cada classe. Analitzar i discutir, prenent com a exemple l'activitat anterior.
4. Realitzar gràfics de punts creuant algunes variables. Es visualitza alguna relació entre aquestes variables? Calcular les matrius de covariància per grup i discutir com s'interpreta la matriu de covariància. Quines variables estan més relacionades entre si en cada grup? És similar al que s'observa en l'activitat anterior (taller guiat)?

---

<sup>9</sup> Cabe destacar que esta base de datos se proporciona en los Anexos. Sin embargo, se recomienda que el alumnado cree su propia base de datos en el taller guiado. Para realizar dicho proceso, simplemente se debe eliminar el carácter “#” (descomentar) de la línea de código: `save(data_f,file="IND_CS_nombre.RData")`.



## Part I

1. Realitzar l'Anàlisi de Components Principals per a les comunitats de classificació G1. En què consisteix el mètode? Es podria aplicar sense utilitzar una funció predeterminada de R? Com?
2. Construir índexs segons les components principals seleccionades i un índex que approximi la variància total. Quantes components s'haurien d'utilitzar? Quin percentatge de la variància explica cada component seleccionada? Quina és la principal diferència entre els índexs relacionats amb cada component i l'índex de variància total? Quins són els indicadors més significatius (reducció de dimensionalitat)?
3. Repetir el procediment anterior per al conjunt de comunitats de classe G2.

## Part II

1. Incorporar la valoració numèrica WSP a la base de dades amb què es treballa.
2. Realitzar una regressió lineal per a les comunitats de classificació G1 considerant els 7 indicadors. S'identifiquen dades atípiques (outliers)? En cas afirmatiu, eliminar aquestes dades i comentar si millora la regressió al eliminar-los.
3. Realitzar successives regressions amb l'eliminació d'indicadors fins a ajustar a un millor model. S'obté un  $R^2$  raonable? Algun dels models és capaç de representar bé l'índex WSP? Reflexiona sobre la quantitat de dades disponibles. Quants i quins indicadors finalment són significatius?
4. Construir un nou índex a partir del model lineal escollit, en el cas que es disposi d'un model vàlid.
5. Repetir el procediment anterior per al conjunt de comunitats de classe G2.

## Part III

Respondre a les següents qüestions en funció dels resultats obtinguts. Per aquest cas, es recomana utilitzar els gràfics i taules construïts durant el desenvolupament de l'activitat:

1. Quins són els indicadors (variables) que resulten ser els més influents en aplicar ACP i RLM? Són els mateixos, coincideixen? Utilitzar la taula de coeficients alfa. Hi ha alguna relació entre els índexs construïts per classe? Utilitzar els gràfics de punts com a ajuda.

2. Quina informació addicional sobre els grups s'obté en aplicar la metodologia de manera separada? Es pot diferenciar G1 de G2 segons les variables que més importen? És d'utilitat diferenciar les comunitats en G1 i G2 per aplicar criteris de decisió d'inversió com els proposats al taller guiat?
3. En quines comunitats s'hauria de prioritzar una hipotètica inversió, en el cas de no poder atendre a totes? Realitzar una proposta (tècnica) per a donar suport a aquesta decisió. En la proposta realitzada, seria important considerar altres factors per donar suport a les decisions preses, com ara la població existent en cada comunitat?

#### 4.1. SOLUCIÓ I CRITERIS D'AVALUACIÓ

##### **Solució activitat proposada**

La solució numèrica d'aquesta activitat proposada es troba en els annexos adjunts amb el nom "A.III\_Cas\_Estudi\_A.pdf" (a més de "A.II\_CE\_guiado.R", corresponent a la solució del codi). En aquesta ocasió, l'objectiu és guiar el docent en relació als resultats esperats. Aquesta solució correspon als valors numèrics i les gràfiques obtingudes en aplicar els mètodes sol·licitats, no obstant això, per a aquesta solució és útil quan existeixen classificacions del nivell de servei de les comunitats. D'aquesta manera, es pot enfocar l'anàlisi a les comunitats en pitjor situació (en aquest cas G2), alhora que l'anàlisi és més específica quan mostra les deficiències dins del grup i no de tot el conjunt de dades. Per lo tant, quan s'ha de proposar a quines comunitats prioritzar les inversions, i les accions associades, es dirigeix el focus directament a les de classe G2 (amb mitjana dels indicadors menors). A més, es suggereix considerar factors com la població per comunitat, per invertir en aquelles comunitats on hi hagi més població amb un baix nivell de servei; i la quantitat de dones a la junta d'aigua, per promoure la igualtat de gènere considerat com un catalitzador del desenvolupament dins de les comunitats.

##### **Criteris d'avaluació**

Per a avaluar aquesta activitat es sol·licitarà el lliurament d'un informe que presenti tota l'activitat resolta. Aquest informe anirà acompanyat amb els codis desenvolupats en mode d'annexos. S'avaluarà la capacitat de síntesi, simulant que aquest informe s'utilitzarà per guiar l'administració de Lempira per la presa de decisions.

Per a l'avaluació de l'informe, es recomana l'ús de la rúbrica esmentada anteriorment (veure Annex IX). Específicament, s'avaluaran els aspectes tècnics identificats en la rúbrica. No

obstant això, i en funció de les respostes de l'alumnat, també es podrà considerar si es fa referència a altres aspectes plasmats en la rúbrica.

Per tant, la rúbrica representa un possible instrument per facilitar l'avaluació de les activitats proposades en conjunt. Com s'ha especificat anteriorment, el docent és lliure de triar un mètode alternatiu d'avaluació si ho creu convenient.

## BIBLIOGRAFIA

Cairncross, S., and Valdmanis, V. 2006. "Water Supply, Sanitation, and Hygiene Promotion". In: Jamison, D.T., Breman, J.G., Measham, A.R., Alleyne, G., Claeson, M., Evans, D.B., Jha, P., Mills, A., Musgrove, P. (Eds.), *Disease Control Priorities in Developing Countries*. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington DC.

Carter, R.C., Tyrrel, S.F., and Howsam, P. 1999. "Impact and Sustainability of Community Water Supply and Sanitation Programmes in Developing Countries". *Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management* 13, 292–296.

Cotton, A., Bartram, J. 2008. "Sanitation: on- or off-track? Issues of Monitoring Sanitation and the Role of the Joint Monitoring Programme". *Waterlines* 27, 12–29. doi:10.3362/1756-3488.2008.003

Dunson, D. 2008. "Random Effect and Latent Variable Model Selection". Springer-Verlag, New York. ISBN: 978-0-387-76720-8.

Giné-Garriga, R. 2015. "Monitoring Water, Sanitation and Hygiene Services: Developing Tools and Methods to Measure Sustainable Access and Practice at the Local Level". Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. Available at: <http://hdl.handle.net/10803/334692>.

Giné-Garriga, R., Jiménez Fdez. De Palencia, A., and Pérez-Foguet, A. 2011. "A Closer Look at the Sanitation Ladder: Issues of Monitoring the Sector". In 35th Water, Engineering and Development Centre (WEDC) International Conference, Loughborough.

Giné-Garriga, R., and Pérez-Foguet, A. 2013a. "Unravelling the Linkages between Water, Sanitation, Hygiene and Rural Poverty: The Wash Poverty Index." *Water Resources Management* 27, 1501–1515. doi: 10.1007/s11269-012-0251-6.

Giné-Garriga, R., and Pérez-Foguet, A. 2013b. "Water, Sanitation, Hygiene and Rural Poverty: Issues of Sector Planning and the Role of Aggregated Indicators." *Water Policy* 15, 1018–1045. doi:10.2166/wp.2013.037.

Hoyle, R.H. 2012. "Handbook of Structural Equation Modeling". Guilford Press, New York. ISBN: 9781462516797.

Joint Monitoring Programme. 2015a. "Progress on Sanitation and Drinking Water: 2015 Update and MDG Assessment". New York and Geneva.

Joint Monitoring Programme. 2015b. "Methodological Note: Proposed Indicator Framework for Monitoring SDG Targets on Drinking-Water, Sanitation, Hygiene and Wastewater". New York and Geneva.

Joint Monitoring Programme. 2015c. "JMP Green Paper: Global Monitoring of Water, Sanitation and Hygiene post-2015". New York and Geneva.

Joint Monitoring Programme. 2017. "WaSH en la Agenda 2030: Nuevos Indicadores a Nivel Mundial para Agua para Consumo, Saneamiento e Higiene". New York and Geneva.

Kottegoda, N.T., and Rosso, R. 2009. "Applied Statistics for Civil and Environmental Engineers" (2nd ed.). Wiley-Blackwell, Oxford. ISBN 978-1-4051-7917-1.

Lockwood, H., Smits, S., Schouten, T., and Moriarty, P. 2010. "Sustainable Water Services at Scale". In Proceedings of an International Symposium Held in Kampala, Uganda, Thematic Group on Scaling Up Rural Water Services.

Lloyd, B.J., and Bartram, J.K. 1991. "Surveillance Solutions to Microbiological Problems in Water-Quality Control in Developing-Countries". *Water Science and Technology* 24, 61–75.

Maindonald, J., and Braun, W.J. 2010. "Data Analysis and Graphics Using R - an Example-Based Approach" (3rd ed.). Cambridge University Press. ISBN: 978-0-521-76293-9.

Moriarty, P., Batchelor, C., Fonseca, C., Klutse, A., Naafs, A., Nyarko, A., Pezon, K., Potter, A., Reddy, R., and Snehalata, M. 2011. "Ladders for Assessing and Costing Water Service Delivery, WASHCost". IRC International Water and Sanitation Centre, The Hague.

Organización Mundial de la Salud. 2017. "Servicios de Agua Potable Gestionada de Forma Segura: Informe Temático sobre el Agua Potable 2017" (Safely Managed Drinking Water Services - Thematic Report on Drinking Water 2017). Ginebra.

Pérez-Foguet, A., and Flores, O. 2015. "Decision Support Model for SIASAR, Technical Proposal (v. 2015.07)". Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. Available at <http://hdl.handle.net/2117/77587>.

Ross, S.M. 2014. "Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists" (5th ed.). Elsevier Academic Press, London. ISBN: 978-0-12-394811-3.

Tucker, L. R., and MacCallum, R. C. 1997. "Exploratory Factor Analysis". Ohio State University, Columbus, Chicago. Available at: <http://www.unc.edu/~rcm/book/factornew.htm>

Ugarte, M.D., Militino, A.F., and Arnholt, A.T. 2015. "Probability and Statistics with R". (2nd ed.). CRC Press LLC, Taylor and Francis Group, Boca Raton. ISBN: 978-1466504394

United Nations General Assembly. 2010a. "Human Rights and Access to Safe Drinking Water and Sanitation". Resolution A/HRC/RES/15/9.

United Nations General Assembly. 2010b. "The Human Right to Water and Sanitation". Resolution A/RES/64/292.

## ANNEXOS

- I. Guia de procediment Activitat a classes < A.I\_Cas\_Estudi\_G.pdf >
- II. Codi en R Activitat a classes < A.II\_CE\_guiado.R >
- III. Solució Activitat Proposada a casa <A.III\_Cas\_Estudi\_A.pdf >
- IV. Codi en R Activitat Proposada a casa < A.IV\_CE\_autonomo.R >
- V. Dades Activitat a classes < A.V\_datos\_CS.RData >
- VI. Dades Activitats < A.VI\_WSP\_CS.RData >
- VII. Dades Activitat a casa < A.VII\_INS\_CS.RData >
- VIII. Dades Activitat a casa (separats per grup) < A.VIII\_CLAS\_G12\_CS.RData >
- IX. Proposta rúbrica d'avaluació <A.IX\_Rúbrica\_avaluació.pdf >



**GDEE**

GLOBAL  
DIMENSION IN  
ENGINEERING  
EDUCATION

<http://www.gdee.eu>



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

**UAB**

Universitat Autònoma  
de Barcelona

Aquest projecte està finançat per:



**Ajuntament  
de Barcelona**



## ANNEX

### Proposta de rúbrica per avaluar la competència transversal de "Sostenibilitat i Compromís Social (SiC)"

**Definició:** La competència genèrica sostenibilitat i compromís social és i) la capacitat de conèixer i comprendre la complexitat dels fenòmens econòmics i socials típics de la societat del benestar, ii) la capacitat per relacionar el benestar amb la globalització i la sostenibilitat, i iii) l'habilitat per utilitzar de forma equilibrada i compatible la tècnica, la tecnologia, l'economia.

▢ **Nivell 1: Analitzar** sistemàtica i críticament la situació global, atenent la sostenibilitat **de forma interdisciplinària** així com al desenvolupament humà sostenible, i reconèixer les implicacions socials i ambientals de les activitats professionals del mateix camp.

▢ **Nivell 2:** Aplicar criteris de sostenibilitat i els codis deontològics de la professió en el **disseny i avaluació de solucions tecnològiques**.

▢ **Nivell 3:** Tenir en compte les dimensions social, econòmica i ambiental en **aplicar solucions i dur a terme projectes** coherents amb el desenvolupament humà i la sostenibilitat.

**Desenvolupament Sostenible:** "aquell que satisfà les necessitats del present sense comprometre les necessitats de les futures generacions". World Commission on Environment and Development (WCED). 1987. Our Common Future (Brundtland Report). United Nations.

**IMPORTANT:** La present rúbrica és de caràcter general i té com a objectiu oferir uns criteris de valoració de referència a tenir en compte. Per tant, i en funció de l'activitat que es vagi a implementar i avaluar, es recomana realitzar les adaptacions pertinents per proporcionar la claredat a l'alumnat en relació als aspectes que s'han de tenir en compte en l'avaluació.

**Analitzar** sistemàtica i críticament la situació global, atenent la sostenibilitat **de forma interdisciplinària** així com al desenvolupament humà sostenible, i reconèixer les implicacions socials i ambientals de les activitats professionals del mateix camp

NIVELL 1	4	3	2	1
<b>Sostenibilitat: Aspectes mediambientals</b>	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>ambiental, tecnològic i temporal</b> <b>IDENTIFICANT</b> Les necessitats tècniques (avaluant-les <b>ambientalment</b> ) <b>I DESCRIVINT</b> Els <b>impactes ambientals</b> directes i indirectes de les decisions	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>ambiental, tecnològic i temporal</b> <b>DESCRIVINT</b> Els <b>impactes ambientals</b> directes i indirectes de les decisions	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>ambiental i tecnològic</b> <b>IDENTIFICANT</b> Les necessitats tècniques (avaluant-les <b>ambientalment</b> )	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>ambiental</b>
<b>Sostenibilitat: Aspectes socials</b>	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>social, tecnològic i temporal</b> <b>IDENTIFICANT</b> Les necessitats tècniques (avaluant-les <b>socialment</b> ) <b>I DESCRIVINT</b> Els <b>impactes socials</b> directes i indirectes de les decisions, i <b>integrant la perspectiva de gènere</b>	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>social, tecnològic i temporal</b> <b>DESCRIVINT</b> Els <b>impactes socials</b> directes i indirectes de les decisions, i <b>integrant la perspectiva de gènere</b>	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>social i tecnològic</b> <b>IDENTIFICANT</b> Les necessitats tècniques (avaluant-les <b>socialment</b> )	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>social</b>
<b>Sostenibilitat: Aspectes econòmics</b>	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>econòmic, tecnològic i temporal</b> <b>IDENTIFICANT</b> Les necessitats tècniques (avaluant-les <b>econòmicament</b> ) <b>I DESCRIVINT</b> Els <b>impactes econòmics</b> directes i indirectes de les decisions	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>econòmic, tecnològic i temporal</b> <b>DESCRIVINT</b> Els <b>impactes econòmics</b> directes i indirectes de les decisions	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>econòmic i tecnològic</b> <b>IDENTIFICANT</b> Les necessitats tècniques (avaluant-les <b>econòmicament</b> )	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>econòmic</b>
<b>Compromís Social</b>	<b>3</b> + <b>I DESCRIVINT</b> Els <b>vincles amb societats</b> allunyades geogràficament	<b>2</b> + <b>I PRESENTANT</b> <b>Arguments històrics i polítics</b> per explicar-les	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>ètic</b> <b>IDENTIFICANT</b> Les <b>desigualtats</b> socials, econòmiques, ambientals, tecnològiques, geogràfiques, etc.	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>ètic</b>

Aplicar criteris de sostenibilitat i els codis deontològics de la professió en el <b>disseny i avaluació de solucions tecnològiques</b>					
NIVELL 2	4	3	2	1	
<b>Sostenibilitat: Aspectes mediambientals</b>	<b>[3]+</b>	<b>[2]+</b>  <b>I DISSENYANT</b> Les solucions o propostes de millora atenent <b>anàlisi de fluxos (materials, energia, ACV)</b>	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>ambiental, tecnològic i temporal</b> <b>VINCULANT</b> <b>L'exercici professional</b> amb aquesta reflexió	<b>REFLEXIONA</b> de forma <b>crítica</b> des del punt de vista <b>ambiental, tecnològic i temporal</b>	
<b>Sostenibilitat: Aspectes socials</b>		<b>[2]+</b>  <b>I DISSENYANT</b> Les solucions o propostes de millora atenent a <b>les necessitats dels grups més vulnerables</b>	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>social, tecnològic i temporal</b> <b>VINCULANT</b> <b>L'exercici professional</b> amb aquesta reflexió	<b>REFLEXIONA</b> de forma <b>crítica</b> des del punt de vista <b>social, tecnològic i temporal</b>	
<b>Sostenibilitat: Aspectes econòmics</b>		<b>I PRIORITZANT</b> Les <b>alternatives</b> en funció d'aquests criteris	<b>[2]+</b>  <b>I DISSENYANT</b> Les solucions o propostes de millora atenent els <b>impactes econòmics</b> directes i indirectes de les decisions	<b>REFLEXIONA</b> des del punt de vista <b>econòmic, tecnològic i temporal</b> <b>VINCULANT</b> <b>L'exercici professional</b> amb aquesta reflexió	<b>REFLEXIONA</b> de forma <b>crítica</b> des del punt de vista <b>econòmic, tecnològic i temporal</b>
<b>Compromís Social</b>		<b>[2]+</b>  <b>I DISSENYANT</b> Les solucions o propostes de millora atenent a <b>criteris de pertinença, eficiència, impacte, etc.</b>	<b>IDENTIFICA</b> els <b>drets i aspiracions de les persones i grups socials</b> <b>VINCULANT</b> Les <b>responsabilitats de l'exercici professional</b> amb aquesta identificació	<b>IDENTIFICA</b> els <b>drets i aspiracions de les persones i grups socials</b>	

Tenir en compte les dimensions social, econòmica i ambiental en **aplicar solucions i dur a terme projectes** coherents amb el desenvolupament humà i la sostenibilitat.

NIVELL 3	4	3	2	1
<b>Sostenibilitat</b>	<p>[2] +</p> <p>I <b>AVALUANT</b> L'impacte, les implicacions i conseqüències socials, ambientals i econòmiques, directes i indirectes, de les decisions</p>	<p>[2] +</p> <p>I <b>ANALITZANT</b> L'impacte, les implicacions i conseqüències socials, ambientals i econòmiques, directes i indirectes, de les decisions</p>	<p><b>REFLEXIONA</b> de forma crítica sobre l'exercici professional des del punt de vista ètic, social, ambiental, econòmic, tècnic i temporal de forma sistèmica</p> <p><b>INTEGRANT</b> Coneixement i informació de diferent naturalesa</p> <p>I <b>DESENVOLUPANT</b> Projectes d'enginyeria coherents amb la promoció del desenvolupament humà i la sostenibilitat</p>	<p><b>REFLEXIONA</b> de forma crítica sobre l'exercici professional des del punt de vista ètic, social, ambiental, econòmic, tècnic i temporal de forma sistèmica</p> <p><b>INTEGRANT</b> Coneixement i informació de diferent naturalesa</p>
<b>Compromís Social</b>	<p>[2] +</p> <p>I <b>AVALUANT</b> La generació i transferència de tecnologia i coneixements entre les parts i amb la societat</p>	<p>[2] +</p> <p>I <b>ANALITZANT</b> La generació i transferència de tecnologia i coneixements entre les parts i amb la societat</p>	<p><b>IDENTIFICA</b> els drets i aspiracions de les persones i grups socials</p> <p><b>DESENVOLUPANT</b> Projectes que integren explícitament mecanismes de cooperació entre parts i/o tercers</p> <p>I <b>CONSIDERANT</b> Criteris de pertinença, eficiència, impacte, etc.</p>	<p><b>IDENTIFICA</b> els drets i aspiracions de les persones i grups socials</p> <p><b>VINCULANT</b> Les responsabilitats de l'exercici professional amb aquesta identificació</p> <p>I <b>DESENVOLUPANT</b> Projectes que integren explícitament mecanismes de cooperació entre parts i/o tercers</p>



**GDEE**

GLOBAL  
DIMENSION IN  
ENGINEERING  
EDUCATION

<http://www.gdee.eu>



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

**UAB**

Universitat Autònoma  
de Barcelona

Aquest projecte està finançat per:



**Ajuntament  
de Barcelona**