

Resum

Els biodigestors de baix cost són una opció tecnològica adequada per subministrar biogàs i fertilitzant a famílies que viuen en àrees rurals de països del sud. L'objectiu general d'aquest projecte és el desenvolupament d'una eina per facilitar-ne la implementació i el disseny a partir d'una sèrie de criteris que tinguin en compte aspectes tècnics, econòmics, socials i mediambientals.

Aquesta eina s'ha basat en l'anàlisi multicriteri i ha tingut en compte els criteris escollits permetent les següents opcions: la selecció de les comunitats on és més adient la instal·lació d'un biodigestor de baix cost, l'elecció del model de biodigestor que més s'adequa i l'elecció dels paràmetres de disseny del biodigestor escollit.

El treball està dividit en 5 parts principals, a la primera de les quals es presenta la tecnologia que es vol aplicar, els biodigestors de baix cost, els diferents models principals que hi ha i el seu funcionament.

La segona part s'ha centrat en l'explicació de la metodologia emprada per al desenvolupament d'aquesta eina, l'anàlisi multicriteri, i els passos que se segueixen per a la seva aplicació: la definició dels criteris, la ponderació dels mateixos i l'avaluació d'alternatives i agregació de resultats.

Les tercera i quarta parts se centren en la definició dels criteris a seguir per a l'aplicació de l'eina a l'àmbit dels biodigestors de baix cost i la seva ponderació mitjançant la consulta a diversos experts del sector.

Finalment, per comprovar la validesa de la eina dissenyada, s'ha aplicat aquesta a 3 casos reals en els quals s'han desenvolupat projectes d'instal·lació de biodigestors de baix cost amb anterioritat i se'n coneixen els resultats finals.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. INTRODUCCIÓ	5
1.1. Objectius i abast del projecte	6
2. DESCRIPCIÓ DE LA TECNOLOGIA	9
2.1. Biodigestor de formigó	10
2.2. Biodigestor tubular de plàstic	12
2.3. Comparativa	14
3. DESCRIPCIÓ DE LA METODOLOGIA EMPRADA	15
3.1. Definició de criteris	16
3.2. Ponderació de criteris	16
3.3. Avaluació de les alternatives i agregació de resultats	17
4. SELECCIÓ DE CRITERIS	21
4.1. Fase 1: Selecció de comunitats	21
4.2. Fase 2: Selecció del tipus de tecnologia a implementar	24
4.3. Fase 3: Selecció de característiques bàsiques de disseny del biodigestor escollit	25
5. PONDERACIÓ DE CRITERIS	27
5.1. Resultats segons diferenciació de perfils	31
5.1.1. Tipus de perfil professional	31
5.1.2. Tipus de clima	33
5.1.3. Segons grau d'experiència	35
6. VALIDACIÓ DE LA EINA	37
6.1. Aplicació a la fase 1	38
6.1.1. Introducció de dades fase 1	38
6.1.2. Obtenció de resultats fase 1	40
6.2. Aplicació a la fase 2	44
6.2.1. Introducció de dades fase 2	44
6.2.2. Obtenció de resultats fase 2	46
6.3. Aplicació a la fase 3	47
6.3.1. Introducció de dades fase 3	47
6.3.2. Obtenció de resultats fase 3	53

7. IMPACTE AMBIENTAL	56
8. PRESSUPOST	57
CONCLUSIONS	59
AGRAÏMENTS	60
BIBLIOGRAFIA	61
Referències bibliogràfiques	61
Bibliografia complementària	62

1. Introducció

A l'actualitat 1,6 bilions de persones al món (equivalent al 22% de la població mundial), no tenen accés a l'electricitat, principalment en zones rurals. A més a més, 2,5 bilions de persones (equivalent al 34% de la població mundial), encara depenen dels combustibles tradicionals (fusta, fems i residus agrícoles) per a satisfer les seves necessitats diàries relacionades amb la calefacció i la cuina provocant alts impactes en el medi ambient i en la salut de les persones [9]. L'accés a l'energia moderna és indispensable per a la millora de serveis bàsics que depenen del subministrament d'energia; el subministrament d'aigua, el sanejament, la sanitat o l'educació en són alguns exemples clars. Així com també contribueixen a la reducció de la pobresa proporcionant serveis d'enllumenat, d'energia mecànica, de transport i de telecomunicacions [9].

També cal fer menció a la necessitat de mitigar el canvi climàtic i els gasos d'efecte hivernacle provocats principalment per la generació i consum d'energia. Per aquest motiu, es considera necessària la implementació de tecnologies que permetin la generació d'energia neta contribuint d'aquesta manera a una reducció en l'emissió dels gasos d'efecte hivernacle i en la reducció de la pobresa mundial [9].

En els darrers anys i principalment en els països del sud, s'ha popularitzat cada vegada més la instal·lació de biodigestors de baix cost per a famílies que viuen en zones rurals per ser considerats una opció tecnològica adequada per subministrar biogàs i fertilitzant. Els biodigestors són considerats una eina tecnològica que pot ajudar a les famílies a cobrir les seves necessitats energètiques per a l'enllumenat, la cuina i per a la generació d'electricitat, millorant d'aquesta manera les seves condicions de vida.

En el context estudiat suposen una solució tant des d'un punt de vista energètic, ja que el biogàs pot ser utilitzat com a combustible a l'hora de cuinar, com de gestió de residus ja que permet a les famílies donar sortida al fem dels animals fent servir l'efluent com a fertilitzant en els camps de cultiu i reduint les emissions de gas metà a l'atmosfera.

L'ús dels biodigestors pot tenir a més a més conseqüències mediambientals i socials molt positives ja que redueixen l'ús d'altres combustibles com la llenya o el GLP (Gas líquid del petroli). Sovint la reducció d'ús de la llenya per a cuinar té una incidència directa sobre la salut de les famílies ja que es redueixen les malalties respiratòries causades per la inhalació del fum [14].

Un dels factors més importants però a l'hora d'instal·lar un biodigestor, és l'acceptació d'aquest per part de la família que l'utilitzarà. Freqüentment s'ha comès l'error de forçar a les famílies a instal·lar biodigestors sense elles desitjar-ho realment o sense informar

correctament sobre què comporta l'ús d'un biodigestor, provocant en nombroses ocasions el fracàs de molts projectes [14].

Sovint, la instal·lació d'aquests està promogut per organitzacions sense ànim de lucre involucrades en projectes de cooperació que depenen de subvencions de l'estat i va molt lligada als interessos socials i territorials de les mateixes subvencions més que dels beneficiaris. Sovint també són dutes a terme per equips que no coneixen amb profunditat l'entorn o la tecnologia o projectes que s'han implementat sense una planificació prèvia i sense cap tipus de metodologia que suporti les decisions. Tot això ha conduït a molts projectes que han acabat fracassant degut a l'abandonament de la tecnologia per part de les famílies.

1.1. Objectius i abast del projecte

S'ha desenvolupat aquest projecte amb l'objectiu general de proporcionar una eina que faciliti el disseny d'aquests tipus de projectes tenint en compte una sèrie de criteris que considerin tant aspectes tècnics i econòmics com socials i mediambientals.

Aquesta eina dóna suport primer a la selecció de les comunitats on és més adient la instal·lació d'un biodigestor de baix cost, després a l'elecció del model de biodigestor que més s'adequa al context i finalment a l'elecció dels paràmetres de disseny del biodigestor escollit.

L'eina s'ha basat en l'anàlisi multicriteri, una eina de presa de decisions desenvolupada per problemes multicriteri complexos que inclouen aspectes qualitius i/o quantitius del problema a tractar a l'hora de prendre decisions. S'ha considerat aquesta opció donat a que ha sigut una eina aplicada en altres àmbits, l'electrificació de zones rurals [5], la gestió de residus [10] o el sanejament d'aigües [7] en països del sud en son alguns exemples.

L'objectiu general es concreta en els següents objectius específics:

- Estudi i presentació de la tecnologia que es vol aplicar, els biodigestors de baix cost, els diferents models principals que hi ha i el seu funcionament.
- Definició de la metodologia emprada per al desenvolupament d'aquesta eina, l'anàlisi multicriteri, i descripció dels passos que se segueixen per a la seva aplicació: la definició dels criteris, la ponderació dels mateixos i l'avaluació d'alternatives i agregació de resultats.

- Definició dels criteris a seguir per a l'aplicació de l'eina a l'àmbit dels biodigestors de baix cost i la seva ponderació mitjançant la consulta amb enquestes a diversos experts del sector.
- Avaluació d'alternatives i agregació de resultats mitjançant l'aplicació de la funció objectiu obtinguda a partir de l'aplicació de la programació compromís al problema plantejat.
- Validació de l'eina dissenyada, mitjançant l'aplicació d'aquesta a 3 casos reals en els quals s'han desenvolupat projectes d'instal·lació de biodigestors de baix cost amb anterioritat a 3 comunitats de la regió de Cajamarca al Perú i dels quals se'n coneixen els resultats i avaluacions finals

2. Descripció de la tecnologia

Els biodigestors o digestors anaeròbics són sistemes que aprofiten la fermentació duta a terme per les bacteries que es troben a la matèria orgànica, en absència d'oxigen, i permeten la seva transformació per obtenir-ne biogàs amb l'objectiu d'utilitzar-lo com a font d'energia, ja sigui amb la crema directa per a la cuina i calefacció o en la seva transformació en energia elèctrica en els casos que la quantitat produïda sigui suficientment elevada.

El biogàs que s'obté és una barreja gasosa composta principalment de metà (CH_4) i diòxid de carboni (CO_2). La seva composició varia en funció del substrat que s'utilitzi i es troba entre un 50-70% en el cas del CH_4 i entre un 30-40% en el cas del CO_2 . Aproximadament el 5% restant està compost d'hidrogen (H_2), àcid sulfhídric (H_2S) i altres gasos producte dels processos fisicoquímics [12].

El fertilitzant o digestat és l'efluent líquid que s'obté del procés i resulta un líquid molt ric en nutrients que pot ser utilitzat com a fertilitzant. La seva composició varia molt en funció del substrat i en alguns casos s'ha de tractar abans de ser aplicat als camps de cultiu.

A nivell industrial, l'ús de biodigestors està molt estès, principalment per a la generació d'energia elèctrica mitjançant la transformació del biogàs, però la complexitat de les instal·lacions de biogàs industrial i la necessitat de disposar de components tecnològics molt avançats, fan que la seva instal·lació no sigui possible en països del sud. En el cas dels biodigestors de baix cost, són sistemes que adopten múltiples configuracions però que totes elles compleixen una sèrie de característiques que els converteixen en una tecnologia apropiada: baix cost, facilitat d'instal·lació i operació i ús de materials disponibles a la zona on han de ser implementats.

Els biodigestors de baix cost s'han estat instal·lant arreu del món des de fa 100 anys, principalment al continent asiàtic i més recentment a Àfrica i Amèrica Llatina gràcies a programes de subsidis per la implementació de la tecnologia. A continuació es mostra una taula amb el número de biodigestors de baix cost instal·lats en diferents regions amb data 2014 [2].

Regió	Quantitat de biodigestors
Xina	42 milions
Índia	4,25 milions
Nepal	260.000
Bangladesh	25.000
Vietnam	14.000
Cambodja	20.000
Àfrica	4.000
Amèrica Llatina	9.000

Taula. 2.1. Instal·lació de biodigestors familiars al món [17]

Hi ha diversos factors que influeixen en la quantitat i qualitat de biogàs i fertilitzant produïts en el procés de biodigestió, sent un dels més importants la temperatura. Les altes temperatures afavoreixen les reaccions de descomposició, és per aquest motiu que els biodigestors situats en climes on la temperatura ambient sigui més elevada tindran un temps de retenció hidràulica més baix.

En aquest projecte es tenen en compte només els biodigestors de baix cost degut a les característiques socioeconòmiques en les que està contextualitzat i se'n distingeixen dos models principals que s'han implementat zones rurals de països del sud: biodigestor de formigó i biodigestor tubular de plàstic.

Els biodigestors de formigó, desenvolupats inicialment a la Xina, és un dels models implementats més freqüentment en països del sud. Els biodigestors tubulars de plàstic en canvi no es van expandir fins als anys 1980 quan se'n va fer una adaptació del model tradicional asiàtic i es va començar a instal·lar en alguns països d'Amèrica Llatina per la seva facilitat de construcció [9].

2.1. Biodigestor de formigó

Aquest model de biodigestor es construeix a partir de maons o de formigó i s'instal·la completament soterrat. Consta principalment d'una càmera cilíndrica on es fa la barreja d'aigua i fem, una entrada de matèria primera i una sortida d'efluent que també serveix com a dipòsit de compensació. El biogàs s'emmagatzema en la part superior de la càmera i quan s'inicia la producció de biogàs, la barreja es desplaça al dipòsit de compensació, és per aquest motiu que el volum del tanc de compensació equival al d'emmagatzematge del biogàs. La relació d'aigua / fem d'animal necessària per al seu bon funcionament és de 1:1 [15].

Se'n distingeixen tres models diferents: xinès, hindú i camartec. El biodigestor tipus camartec és un disseny ideat a partir del tipus xinès tradicional que consisteix en una reducció de la mida de la càmera principal i l'addició d'una segona càmera de compensació, d'aquesta manera es redueix la quantitat de material necessari per a la seva construcció però augmenta la complexitat de la seva construcció [19]. La principal diferència entre el model hindú i els models xinès o camartec és el tipus de cúpula que presenten. En el cas dels tipus xinès i camartec es tracta d'una cúpula fixa (veure Fig 2.1), en canvi, en el cas del tipus hindú es tracta d'una cúpula flotant que varia la seva posició en funció de la quantitat de biogàs acumulat.

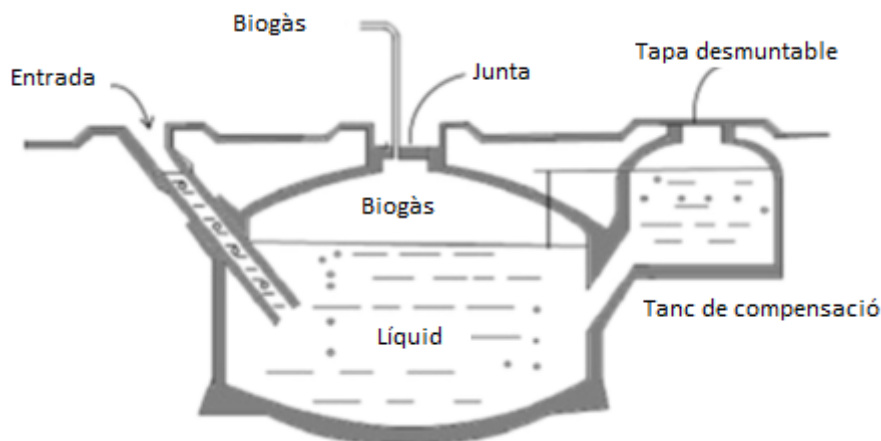


Fig. 2.1. Esquema biodigestor de baix cost tipus xinès [17]

A continuació es descriuen els elements que figuren a la Fig. 2.1:

- **Entrada:** És el conducte per on s'omple el biodigestors amb la barreja d'aigua i matèria orgànica que sigui necessària
- **Tanc de compensació:** Quan es produeix biogàs, l'efluent o digestat, és desplaçat cap al tanc de compensació. D'aquesta manera, el volum de digestat desplaçat al tanc de compensació, és equivalent al volum de biogàs emmagatzemat a la part superior.
- **Tapa desmuntable:** Sobre el tanc de compensació hi ha una tapa que permet l'accés al mateix
- **Sortida biogàs:** És el conducte situat a la part superior del reactor per on s'alliberen els gasos producte dels processos bioquímics que es produeixen al reactor i que condueix cap al reservori de gas, depòsit que serveix per emmagatzemar el biogàs, o cap a la cuina directament.

A la sortida del biogàs s'instal·la un filtre d'àcid sulfhídric (H_2S), que sovint consisteix en un filtre fet amb ferritja, que fa reaccionar l'àcid abans d'arribar a la cuina per tal de que causi danys a la salut de les persones.

- **Líquid:** Ocupa la part inferior del biodigestor
- **Volum biogàs:** Ocupa la part superior del reactor i és on s'acumulen els gasos producte de les reaccions de biodigestió.

2.2. Biodigestor tubular de plàstic

Aquest model de biodigestor aprofita els rotllos de plàstic (polietilè o geomembrana) que es troben disponibles al mercat per usar-los com a càmeres hermèticament aïllades (anomenades reactors), que poden tenir diferents volums, on es barregen l'aigua i els fems. La càmera es diposita en una rasa cavada a terra per protegir el biodigestor de l'exterior i per mantenir-lo a temperatura constant. Les entrades i sortides estan fetes amb canonades convencionals i es segellen al plàstic amb cinta aïllant. El gas es pot emmagatzemar gràcies a un reservori que consisteix en una bossa de plàstic que s'infla a mesura que s'omple de biogàs, situat a la sortida de la part superior del reactor. La relació d'aigua / fem d'animal necessària per al seu bon funcionament és de 3:1 o 4:1 depenent del tipus de fem utilitzat [13].

El cost d'instal·lació del biodigestor tubular de plàstic és majoritàriament més baix que en el cas del biodigestor de formigó degut a la senzillesa i disponibilitat dels materials utilitzats per a la seva construcció. No obstant, el plàstic pot esguerrar-se fàcilment i sovint no pot solucionar-se amb pegats cosa que a vegades causa haver de canviar la càmera del biodigestor sencera.

En regions on la temperatura ambient mitjana és relativament baixa, com ara en les regions andines, és freqüent la instal·lació d'hivernacles sobre la càmera de plàstic que ajuden a augmentar la temperatura interna del biodigestor a la vegada que el protegeixen de possibles danys que poden provenir de l'exterior [13].

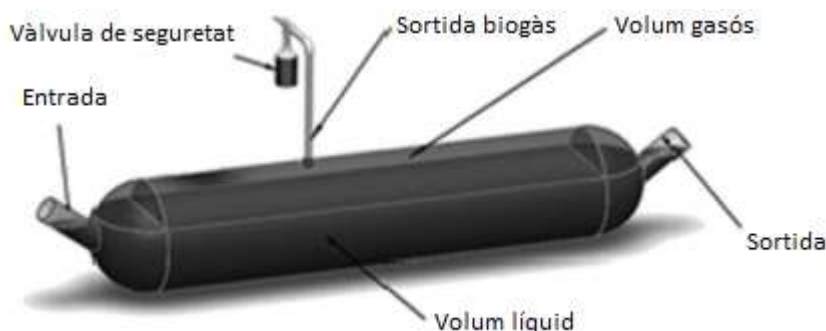


Fig. 2.2. Esquema biodigestor de baix cost tubular de plàstic [17]

A continuació es descriuen els elements que figuren a la Fig. 2.2:

- **Entrada:** És el conducte per on s'omple el biodigestors amb la barreja d'aigua i matèria orgànica que sigui necessària
- **Sortida:** És el conducte per on surt el digestat (o efluent) que posteriorment pot ser utilitzat com a fertilitzant.
- **Sortida biogàs:** És el conducte situat a la part superior del reactor per on s'alliberen els gasos producte dels processos bioquímics que es produeixen al reactor i que condueix cap al reservori de gas, depòsit que serveix per emmagatzemar el biogàs, o cap a la cuina directament.

A la sortida del biogàs s'instal·la un filtre d'àcid sulfhídric (H_2S), que sovint consisteix en un filtre fer amb ferritja, que fa reaccionar l'àcid abans d'arribar a la cuina per tal de que causi danys a la salut de les persones.

- **Volum líquid:** Ocupa la part inferior del biodigestor
- **Volum gasós:** Ocupa la part superior del reactor i és on s'acumulen els gasos producte de les reaccions de biodigestió.
- **Vàlvula de seguretat:** Es tracta d'una vàlvula connectada a la canonada de conducció del biogàs que deixa escapar el gas en el cas de que hi hagi una sobrepressió al reactor o al reservori. Sovint s'utilitzen com a vàlvules de seguretat ampolles de plàstic que contenen una mica d'aigua connectades amb una T a la canonada de sortida perquè l'usuari del biodigestor pugui veure si s'està deixant escapar el gas.

2.3. Comparativa

A la següent taula es resumeixen les avantatges i desavantatges dels biodigestors tubular de plàstic i formigó [2]:

Model de biodigestor	Avantatges	Desavantatges
Tubular de plàstic	Baix cost	Vida útil més curta
	Els materials per a la seva construcció són més fàcils de transportar	Fàcil ruptura
	Baixa complexitat a l'hora de construir-lo	Baixa pressió de sortida del gas
	Fàcil manutenció	
	Més adaptables a diferents condicions climàtiques	Els materials utilitzats tenen un impacte ambiental més elevat
Formigó *	Llarga vida útil	Precisa de d'alts coneixements tècnics per a la seva construcció
	Disseny compacte	De difícil reparació en cas de fuga
	Menor superfície necessària per a la seva construcció	Els materials usats per a la seva construcció són molt pesats i difícils de transportar
	Fàcil manutenció	

Taula. 2.2. Taula comparativa models de biodigestors

*El biodigestor de formigó tipus hindú inclou un tambor de metall que disminueix la vida útil del biodigestor i genera més necessitat de manutenció degut a la corrosió però gràcies a aquest tambor pot mantenir-se una pressió constant del gas a la sortida.

3. Descripció de la metodologia emprada

L'anàlisi multi-criteri és una eina de presa de decisions desenvolupada per problemes multi-criteri complexos que inclouen aspectes qualitius i/o quantitius del problema a tractar a l'hora de prendre decisions [16].

Els mètodes d'anàlisi multicriteri, s'han aplicat sistemes molt diversos com socials, econòmics, industrials i també a sistemes d'energia renovable, aigua i sanejament o gestió de residus [5][7][10]. Els projectes d'instal·lació de biodigestors de baix cost en comunitats de països del sud són projectes en els quals influeixen molts factors que no es limiten només a aspectes tècnics o econòmics sinó que els aspectes socials i mediambientals tenen un pes molt important en el desenvolupaments dels projectes i sovint són aspectes que poden variar molt en funció de la comunitat en la que es vol treballar. Per aquest motiu i basant-se en casos d'aplicació similars amb resultats exitosos [10][7][5], s'ha considerat l'anàlisi multicriteri com una eina adequada a la problemàtica a tractar ja que s'adapta a les circumstàncies i permet la comparativa de múltiples alternatives on influeixen variables molt dispars entre elles, convertint-se en un problema de complexa decisió.

Com descriu Wang [21], l'anàlisi multicriteri aplicat a sistemes d'energia renovable involucra m alternatives que són avaluades sobre n criteris i es pot expressar amb la següent matriu:

$$\begin{array}{c}
 \text{Criteris } C_1 \ C_2 \ \dots \ C_n \\
 \text{(pesos } w_1 \ w_2 \ \dots \ w_n) \\
 \text{Alternatives} \quad \text{-----} \\
 X = \begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{array} \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}_{m \times n}
 \end{array} \tag{3.1}$$

On x_{ij} és el valor del criteri j de la alternativa i ; w_j és el pes del criteri j i n és el número de criteris i m el número d'alternatives.

Per al procés de selecció d'alternatives s'ha seguit la proposta descrita per Wang [21] on se segueix una divisió en 4 punts: definició de criteris, ponderació de criteris, avaluació de les alternatives i agregació de resultats.

3.1. Definició de criteris

Per a la definició dels criteris que permetran l'avaluació de les alternatives s'ha establert una agrupació en 4 grups principals que divideixen els criteris segons si avaluen un aspecte tècnic, econòmic, social o mediambiental.

És important que els criteris d'avaluació seleccionats compleixin amb els següents requisits [5]:

- Ser suficients per incloure l'opinió de tots els actors involucrats
- No ser excessius com per entorpir l'arribada a un consens
- Ser mesurables i amb clares diferenciacions entre si per tal d'evitar redundàncies y permetre un anàlisi clar i concís.

L'eina que es desenvolupa en aquest projecte pretén ser una eina que pugui ser utilitzada en zones rurals de països del sud independentment de la situació geopolítica en la que es trobin les comunitats, és per aquest motiu que la definició dels criteris ha tingut en compte múltiples experiències de diferents projectes d'instal·lació de biodigestors de baix cost en diferents comunitats del països del sud amb característiques molt diverses.

Els criteris proposats i seleccionats per a usar en l'aplicació del multicriteri s'han exposat i desenvolupat al capítol 4 d'aquest projecte.

3.2. Ponderació de criteris

La ponderació de criteris consisteix en l'assignació d'un valor numèric a cada criteri en funció del pes que es consideri que ha de tenir la seva valoració en el resultat final. Per a l'assignació de pesos als criteris existeixen diversos mètodes en els quals varia el grau d'objectivitat i la variabilitat dels valors dels pesos assignats en funció de la influència de l'encarregat de prendre la decisió. Per a projectes que es desenvolupen en l'àmbit de l'energia es distingeixen 2 mètodes principals [5]:

- Mètode d'assignació directa: consisteix en la ponderació dels criteris de forma individual i independentment de la resta de criteris seleccionats. És un mètode on el grau de subjectivitat és bastant elevat ja que depèn directament de la opinió de l'expert i per aquest motiu és un mètode que s'usa freqüentment donada la facilitat de la seva aplicació.
- Mètode d'assignació per parelles: consisteix en la comparativa dels criteris seleccionats de 2 en 2 i en assignar valors segons la importància relativa que es consideri d'un criteri sobre l'altre. Aquest procés aplicat a totes les parelles de criteris

possibles permet extreure la relativització de tots els criteris entre ells i en conseqüència una ponderació en funció de la seva importància.

Al capítol 5 d'aquest projecte s'exposa la metodologia triada per a l'assignació de pesos i les ponderacions resultants d'aquesta.

3.3. Avaluació de les alternatives i agregació de resultats

Els processos d'avaluació d'alternatives i agregació de resultats consisteixen en avaluar cada alternativa en funció dels criteris i en la convergència de diferents mètodes o variants d'un mateix mètode respectivament. Al llarg dels anys s'han desenvolupat diverses eines que ajuden a la presa de decisions. Per aquest projecte s'ha triat la programació compromís ja que, com diu Domènech [5], és una eina senzilla, transparent i fàcil de fer servir que la converteixen en molt adequada en el context de zones rurals de països del sud.

A continuació es descriu l'estructura que es desenvolupa en aplicar el model matemàtic de la programació compromís [18]:

La alternativa ideal es pot representar amb la següent funció:

$$F^* = (F_1^*, \dots, F_i^*, \dots, F_n^*) \quad (3.2)$$

subjecte a:

$$x \in F \quad (3.3)$$

on:

F^* és el valor de la funció per la solució òptima

F_i^* és el valor òptim per al criteri i

El valor de F_i^* dependrà en funció de cada criteri i de si el valor òptim és el màxim o el mínim. Per exemple per al criteri "cost", serà necessari minimitzar el seu valor però per al criteri "número de beneficiaris potencials", serà necessari maximitzar el seu valor.

Per seleccionar quina és la solució més adequada, es triarà aquella que tingui una menor distància a la solució ideal. La distància entre el valor real de una alternativa per al criteri i i el valor ideal d'aquella alternativa, es mesura de la següent manera:

$$d_j = |F_i^* - F_i(x)| \quad (3.4)$$

Tenint en compte que els criteris s'avaluen amb unitats diferents, s'han de normalitzar els valors de les distàncies per tal de respectar els pesos assignats a cada criteri. Per a normalitzar el valor de la distància, es dividirà per la diferència entre el valor ideal F_i^* i el valor antiideal F_{*i} :

$$d_j = \frac{F_i^* - F_i(x)}{F_i^* - F_{*i}} \quad (3.5)$$

Si a la funció (3.5) descrita anteriorment, hi afegim que hem de considerar els pesos que s'han assignat a cada criteri, resulta la següent funció a optimitzar:

$$[MIN]L_p = \left[\sum_{i=1}^n W_i^p \left[\frac{F_i^* - F_i(x)}{F_i^* - F_{*i}} \right]^p \right]^{1/p} \quad (3.6)$$

subjecte a:

$$x \in F \quad (3.7)$$

on:

- p és la mètrica utilitzada
- L_p és la distància total de cada alternativa amb la solució ideal
- n és el nombre de criteris
- i és el criteri que s'avalua
- W_i és el pes assignat al criteri i
- F_i^* és el valor ideal corresponent al criteri i
- $F_i(x)$ és el valor real de l'alternativa que s'està avaluant per al criteri i
- F_{*i} és el valor antiideal corresponent al criteri i

Per indicar si un criteri interessa que sigui maximitzat o minimitzat, s'han indicat els símbols (X) i (N) respectivament a cada indicador a l'apartat 4.

El paràmetre p representa la mètrica utilitzada per valorar la distància de l'alternativa avaluada. En funció del valor de p , el valor resultant de la distància varia i conseqüentment l'alternativa resultant com a òptima també pot variar.

A mesura que el valor de p augmenta, es dona major importància a la major diferència entre el valor de l'alternativa per un criteri i i el seu valor ideal. Els valors de p més usats són 1, 2 i ∞ .

Per a cas $p=1$, la funció objectiu es concreta en la funció (3.8) i per al cas $p=2$ la funció objectiu es concreta en la funció (3.9)

$$[MIN]L_1 = \sum_{i=1}^n W_i \left[\frac{F_i^* - F_i(x)}{F_i^* - F_{*i}} \right] \quad (3.8)$$

$$[MIN]L_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n W_i^2 \left[\frac{F_i^* - F_i(x)}{F_i^* - F_{*i}} \right]^2} \quad (3.9)$$

Per al cas de $p=\infty$ la funció objectiu es redueix a la funció (3.10) i a les restriccions (3.11) que complementen les restriccions (3.3).

$$[MIN]L_\infty = D \quad (3.10)$$

subjecte a:

$$\begin{aligned} D &\geq W_1 \left[\frac{F_1^* - F_1(x)}{F_1^* - F_{*1}} \right] \\ &\vdots \\ D &\geq W_i \left[\frac{F_i^* - F_i(x)}{F_i^* - F_{*i}} \right] \\ &\vdots \\ D &\geq W_n \left[\frac{F_n^* - F_n(x)}{F_n^* - F_{*n}} \right] \end{aligned} \quad (3.11)$$

Amb l'objectiu d'il·lustrar els diferents significats geomètrics de l'avaluació d'alternatives en funció dels 3 valors de p esmentats, s'adjunta un gràfic elaborat per Domènech [5] on es representen les 3 distàncies (L_1 , L_2 i L_∞). Els punts negres representen 2 hipotètiques alternatives d'estudi i el punt vermell la solució ideal.

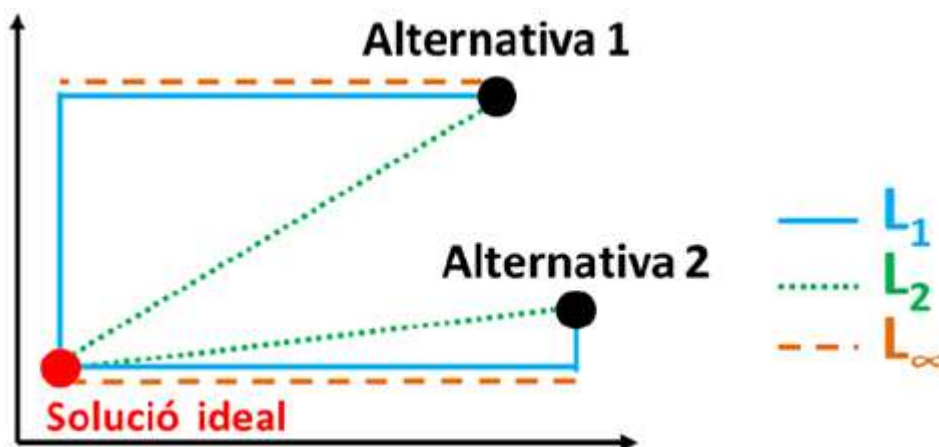


Fig. 3.1. Gràfic il·lustratiu distàncies L_1 , L_2 i L_∞

Per a la distància L_1 (línea blava) l'alternativa 2 és més propera a la solució ideal que l'alternativa 1, en canvi per la distància L_∞ (línea discontinua taronja), el resultat és l'oposat. Per al cas de la distància L_2 (línea discontinua verda), les dues alternatives es troben a la mateixa distància de la solució ideal.

- L_1 assigna una importància respecte a la desviació de cada criteri, proporcional al pes del criteri.
- L_2 mesura la menor distància geomètrica.
- L_∞ únicament té en compte la màxima desviació.

No està clar quina distància és la més adequada a l'hora de resoldre un problema i sovint se n'usa més d'una i es discuteixen els resultats obtinguts en funció de la mètrica utilitzada [5]. Tenint en compte però, que l'objectiu d'aquest projecte és proporcionar una eina que pugui ser utilitzada per un usuari extern independent a la metodologia, s'ha de proposar una mètrica concreta per tal d'obtenir un conjunt únic de resultats.

Per a la tria de la mètrica a utilitzar en aquest projecte, s'ha pres com a referència la proposta feta per Domènech [5], on s'utilitza una combinació lineal entre L_1 i L_∞ ($\alpha \cdot L_1 + [1 - \alpha] \cdot L_\infty$), en funció d'un paràmetre α , que en aquest cas s'ha pres com $\alpha = 0,5$.

4. Selecció de criteris

Per a la selecció dels criteris s'ha fet una revisió bibliogràfica d'experiències prèvies d'instal·lació de biodigestors de baix cost en diferents regions d'Amèrica Llatina on les característiques polítiques i socioeconòmiques de les comunitats varien molt depenent de la seva contextualització. També s'han fet recerca sobre les experiències i opinions dels diferents actors que intervenen en els projectes (usuaris, tècnics, investigadors, ONGs, etc.) per tal de que els criteris seleccionats consideressin tots els aspectes rellevant que influeixen en un projecte.

Per a facilitar l'assignació de pesos als diferents criteris, s'ha subdividit cada criteri en un o més indicadors que poden ser avaluats de forma quantitativa o qualitativa en funció del criteri i de les condicions específiques.

S'ha classificat cada indicador a la columna X/N segons si el valor òptim de l'indicador és el màxim possible (X) o el mínim (N).

Per al cas a estudiar i per facilitar la selecció de criteris s'ha decidit dividir la presa de decisions en els següents 3 nivells:

- Fase 1 – Selecció de comunitats
- Fase 2 – Selecció del tipus de tecnologia a implementar
- Fase 3 – Selecció de les característiques bàsiques de disseny del biodigestor escollit

4.1. Fase 1: Selecció de comunitats

En aquesta fase es consideren com alternatives d'estudi, les diferents comunitats d'una regió on es vol implementar la tecnologia. Cal a dir que en aquest primer nivell és on els aspectes socials i mediambientals tenen una major influència en el resultat final ja que els valors associats als criteris varien molt en funció de la comunitat i poden arribar a influir molt en la viabilitat de realització d'un projecte de biodigestors.

Per a aquest nivell de decisió, inicialment es va generar un nombre gran de criteris que s'han reduït al llarg del transcurs del projecte i els quals s'han anat modificant per fer més senzills per tal de que l'aplicació de la eina no comporti grans dificultats i l'obtenció de les dades necessàries relativament senzilla.

Finalment, com a resultat de la recerca bibliogràfica i de la participació d'experts en l'àrea ha resultat el següent llistat de 14 indicadors agrupats en 8 criteris agrupats i descrits a la taula 4.1:

FASE 1: Priorització de comunitats						
Aspecte	Criteri		Indicador		Definició	X/N
Social	S1	Igualtat	S1.1	IDH	Es prioritzarà aquelles comunitats amb un menor IDH	N
			S1.2	Nombre de famílies que són beneficiàries potencials (o població rural)	Es prioritzarà aquelles comunitats on hi hagi un major nombre de famílies que poden ser beneficiàries de la tecnologia a aplicar. En el cas de no disposar d'aquesta informació, es prioritzarà les comunitats amb major població.	X
	S2	Sensibilització	S2.1	Nombre de famílies involucrades en campanyes de sensibilització i/o en projectes exitosos anteriors (o nombre de campanyes fetes a la comunitat)	Es prioritza la comunitat on hi hagi hagut un major número de campanyes de sensibilització o on s' hagin realitzat projectes amb resultats positius. Es considera que en aquestes comunitats serà més fàcil l'acceptació de la tecnologia per part de les famílies.	X
	S3	Salut	S3.1	Presència de cuines millorades	Es prioritzen les comunitats que no tinguin cuines millorades.	N
	S4	Recursos	S4.1	Facilitat d'obtenció d'un combustible alternatiu	Es prioritzen les comunitats que tenen major dificultat per l'obtenció d'un combustible alternatiu al biogàs. Es considera que aquelles famílies que tinguin molta facilitat per l'obtenció d'un altre combustible assequible seran més reticents a l'acceptació del biodigestor i la dedicació que aquest comporta.	N
			S4.2	Facilitat d'aconseguir mètode de fertirrigació alternativa	Es prioritzen les comunitats que tenen major dificultat d'aconseguir fertilitzant per fertirrigar el cultiu.	N
S5	Disponibilitat econòmica	S5.1	Capacitat de pagament	Es prioritza les comunitats on hi hagi major capacitat de pagament en funció del salari.	X	

Taula. 4.1. Definició de criteris Fase 1

FASE 1: Priorització de comunitats						
Aspecte	Criteri		Indicador		Definició	X/N
Medi ambiental	M1	Impacte	M1.1	Problemes de contaminació (sòl i aigua) degut a residus orgànics que es poden tractar amb biodigestors.	Es prioritza les comunitats on hi hagi més problemes de contaminació causada per residus orgànics que poden ser tractats amb biodigestors	X
			M1.2	Problemes de desforestació	Es prioritza les comunitats on usen llenya per cuinar i hi hagi problemes de desforestació.	X
			M1.3	Presència de cultiu	Es prioritza les comunitats on hi hagi major presència de cultiu per l'aprofitament del digestat obtingut amb el biodigestor.	X
Tècnic	T1	Gestió	T1.1	Presència de personal qualificat dins la comunitat	Es prioritza les comunitats on hi hagi presència de personal qualificat.	X
	T2	Aplicació de la tecnologia	T2.1	Facilitat d'accés a l'aigua durant totes les èpoques de l'any	Es prioritza les comunitats amb major facilitat d'accés a l'aigua donat que disposar d'aigua es un requisit indispensable per al funcionament d'un biodigestor. Es descartarà aquelles comunitats que no tinguin fàcil accés a l'aigua.	X
			T2.2	Temperatura ambient mitjana	Es prioritza les comunitats amb una temperatura mitjana més alta donat que les temperatures més altes afavoreixen el funcionament d'un biodigestor	X
			T2.3	Presència de bestiar	Es prioritza les comunitats amb major número de bestiar donat que es necessari el fem per al funcionament del biodigestor. Es descartarà aquelles comunitats que no tinguin suficient bestiar per al funcionament d'un biodigestor.	X

Taula. 4.1 (continuació) Definició de criteris Fase 1

4.2. Fase 2: Selecció del tipus de tecnologia a implementar

En aquesta fase es consideren com alternatives d'estudi, els dos models principals de biodigestors de baix cost descrits a l'apartat 2; biodigestor tubular de plàstic i biodigestor de formigó. Els aspectes més influents en aquest nivell són el tècnic i econòmic ja que el seu valor es el que té una major variabilitat en funció del biodigestor escollit. De la recerca bibliogràfica en resulta el següent llistat de 10 indicadors agrupats en 6 criteris diferents:

FASE 2: Tipus de tecnologia a implementar						
Aspecte	Criteri		Indicador		Definició	X/N
Econòmic	E1	Cost	E1.1	Inversió inicial	Es prioritza el model de biodigestor que requereixi una inversió inicial menor.	N
			E1.2	Cost total	Es prioritza el model de biodigestor que tingui un cost total menor. Entenent com a cost total, el cost d'inversió i el cost de manteniment d'un biodigestor al llarg d'un període de temps.	N
Tècnic	T1	Manteniment	T1.1	Facilitat de manteniment extraordinari (p.e.: ruptures i buidat)	Es prioritza el model de biodigestor en el que es realitzin reparacions més fàcilment.	X
	T2	Aplicació de la tecnologia	T2.1	Possibilitat de construir en altura de la comunitat elegida	Es prioritza el model de biodigestor que es pugui adaptar millor a les zones de les comunitats en altura.	X
			T2.2	Vida útil	Es prioritza el model de biodigestor que té més anys de vida útil després de la seva instal·lació.	X
			T2.3	Facilitat de manteniment/instal·lació sense necessitat de personal qualificat	Es prioritza el model de biodigestor que necessiti personal menys qualificat.	X

Taula. 4.2. Definició de criteris Fase 2

FASE 2: Tipus de tecnologia a implementar						
Aspecte	Criteri		Indicador		Definició	X/N
Tècnic	T3	Disponibilitat de recursos	T3.1	Materials disponibles localment i facilitat de transportar aquests materials en zones aïllades i de difícil accés	Es prioritza el model de biodigestor que utilitzi major quantitat de materials disponibles localment o que siguin fàcilment transportables a la comunitat escollida.	X
			T3.2	Relació de litres diaris d'aigua necessària per quantitat de fem d'animal	Es prioritza el model de biodigestor que requereixi menor quantitat d'aigua per al seu funcionament. En el cas de que la quantitat d'aigua mínima necessària sigui major a la disponible, es descartarà aquell model de biodigestor.	N
Social	S1	Manutenció	S1.1	Hores diàries requerides per l'operació i manteniment ordinari del biodigestor (càrrega del digestor, verificar el funcionament de les vàlvules, reservori, desherbament, etc.)	Es prioritza el model de biodigestor que requereixi menys hores de treball diari per al seu manteniment.	N
Medi ambiental	M1	Impacte	M1.1	Impacte mediambiental dels materials utilitzats	Es prioritza el model de biodigestor que utilitzi materials amb un impacte menor sobre el medi ambient.	N

Taula. 4.3.(continuació) Definició de criteris Fase 2

4.3. Fase 3: Selecció de característiques bàsiques de disseny del biodigestor escollit.

En aquesta fase es consideren com alternatives d'estudi, diferents configuracions de disseny possibles per al biodigestor escollit a la fase 2. Les configuracions que es proposen contempen diferents volums i materials que s'instal·len habitualment.

En el cas que hagi resultat un biodigestor tipus tubular de plàstic, es proposaran com a alternatives les següents característiques, resultant un total de 12 alternatives:

- Volum: 5, 10 o 15 m³
- Material: polietilè o geomembrana
- Construcció o no construcció d'un hivernacle i/o tipus d'hivernacle.

En el cas que hagi resultat un biodigestor tipus formigó, es proposaran com a alternatives les següents característiques, resultant un total de 9 alternatives:

- Volum: 5, 10 o 15 m³
- Model de biodigestor: xinès tradicional, camartec o hindú

A continuació s'adjunta la selecció de criteris per a la fase 3 que resulta en un total de 7 indicadors agrupats en 3 criteris diferents:

FASE 3: Característiques de disseny del biodigestor escollit						
Aspecte	Criteri		Indicador		Definició	X/N
Econòmic	E1	Cost	E1.1	Inversió inicial	Es prioritza l'alternativa que suposi una inversió inicial menor	N
			E1.2	Cost total o cost de manteniment	Es prioritza l'alternativa amb cost total o cost de manteniment menors associat al tipus de materials utilitzat.	N
Tècnic	T1	Producció	T1.1	Biogàs obtingut	Es prioritza l'alternativa que suposi una producció de biogàs major	X
			T1.2	Quantitat de digestat obtingut	Es prioritza l'alternativa que generi una quantitat de digestat major	X
	T2	Aplicació de la tecnologia	T2.1	Superfície que ocupa	Es prioritza el model de biodigestor que ocupa menys espai. En el caso que sigui necessari més espai mínim del disponible, es descartarà aquell model de biodigestor.	N
			T2.2	Durabilitat/Vida útil	Es prioritza l'alternativa que utilitzi materials amb major durabilitat.	X
			T2.3	Facilitat de manteniment	Es prioritza l'alternativa que utilitzi materials que facilitin el manteniment del biodigestor.	X

Taula. 4.4. Definició de criteris Fase 3

5. Ponderació de criteris

Per a l'assignació de pesos dels diferents indicadors considerats al capítol 4, s'ha sol·licitat la seva valoració a un total de 22 experts en l'àmbit de l'aplicació de biodigestors de baix cost mitjançant una enquesta que es pot consultar als Annexos. A l'enquesta es recull el perfil del participant, els models de biodigestors i els àmbits en els que ha treballat. Es demana al participant que faci una ponderació directa dels diferents indicadors entre 1 i 5 segons la importància que considerin que han de tenir basant-se en la seva experiència personal, sent 1 poc important i 5 molt important.

S'ha triat un mètode d'assignació directa perquè, tot i tenir una forta càrrega subjectiva comparada amb d'altres mètodes com la comparació per parelles, permet tenir en compte l'opinió dels decisors a la vegada que redueixen la complexitat a l'hora de resoldre el problema.

S'ha resumit el perfil dels participants de les enquestes a la taula 5.1:

Participant nro.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Perfil	Tècnic				X				X	X	X	X	X
	Sociòleg								X				
	Professor	X	X		X		X	X	X			X	X
	Altres			X		X			X				
Models de biodigestors	Plàstic tubular	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Tipus Xinès	X	X					X				X	
	Altres	X	X	X				X					
Clima	Tropical	X	X	X	X			X	X	X	X		X
	Temperat	X		X			X				X		X
	Estepari	X									X		
	Temperat fred	X									X		
	de Muntanya	X			X	X					X		X
	Altres										X	X	

Taula. 5.1. Resum del perfil dels participants de la enquesta

Participant nro.		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Recompte
Perfil	Tècnic			X	X					X		9
	Sociòleg											1
	Professor		X		X	X	X	X	X		X	15
	Altres	X										4
Models de biodigestors	Plàstic tubular	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	21
	Tipus Xinès			X								5
	Altres				X							5
Clima	Tropical	X	X	X								12
	Temperat		X		X						X	8
	Estepari											2
	Temperat fred			X								3
	de Muntanya			X	X	X	X	X	X	X		12
	Altres											2

Taula. 5.1. (continuació) Resum del perfil dels participants de la enquesta

A continuació es mostren les taules i gràfiques resultants de fer la mitjana de ponderacions dels 22 experts consultats per als 3 nivells de decisió:

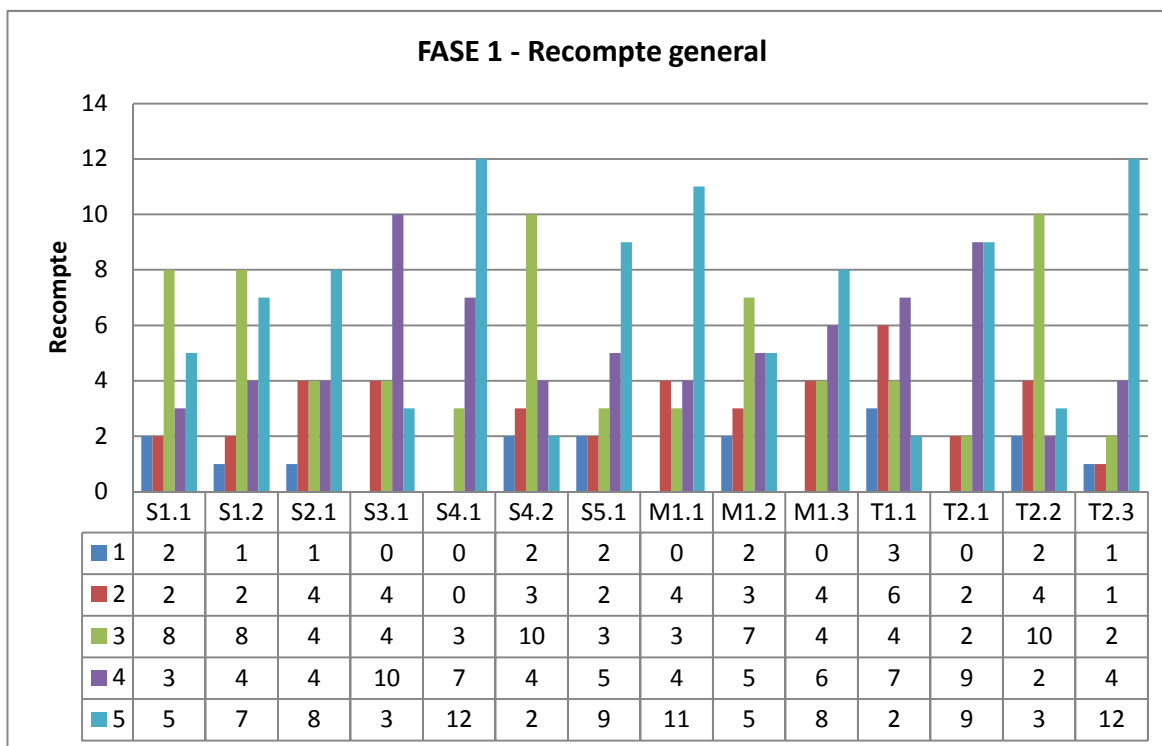


Fig. 5.1. Gràfic de barres resultant de les ponderacions dels criteris de la Fase 1

FASE 1					
Criteri		Promig	Indicador		Promig
S1	Igualtat	0,96	S1.1	IDH	3,35
			S1.2	Nombre de famílies que són beneficiàries potencials (o població rural)	3,64
S2	Sensibilització	1,01	S2.1	Nombre de famílies involucrades en campanyes de sensibilització i/o en projectes exitosos anteriors (o nombre de campanyes fetes a la comunitat)	3,67
S3	Salut	0,98	S3.1	Presència de cuines millorades	3,57
S4	Recursos	1,02	S4.1	Facilitat d'obtenció d'un combustible alternatiu	4,41
			S4.2	Facilitat d'aconseguir mètode de fertirrigació alternativa	3,05
S5	Disponibilitat econòmica	1,05	S5.1	Capacitat de pagament	3,81
M1	Impacte	1,02	M1.1	Problemes de contaminació (sòl i aigua) degut a residus orgànics que es poden tractar amb biodigestors.	4,00
			M1.2	Problemes de desforestació	3,36
			M1.3	Presència de cultiu	3,82
T1	Gestió	0,81	T1.1	Presència de personal qualificat dins la comunitat	2,95
T2	Aplicació de la tecnologia	1,04	T2.1	Facilitat d'accés a l'aigua durant totes les èpoques de l'any	4,14
			T2.2	Temperatura ambient mitjana	3,00
			T2.3	Presència de bestiar	4,25

Taula. 5.2. Promig de ponderacions dels criteris de la Fase 1

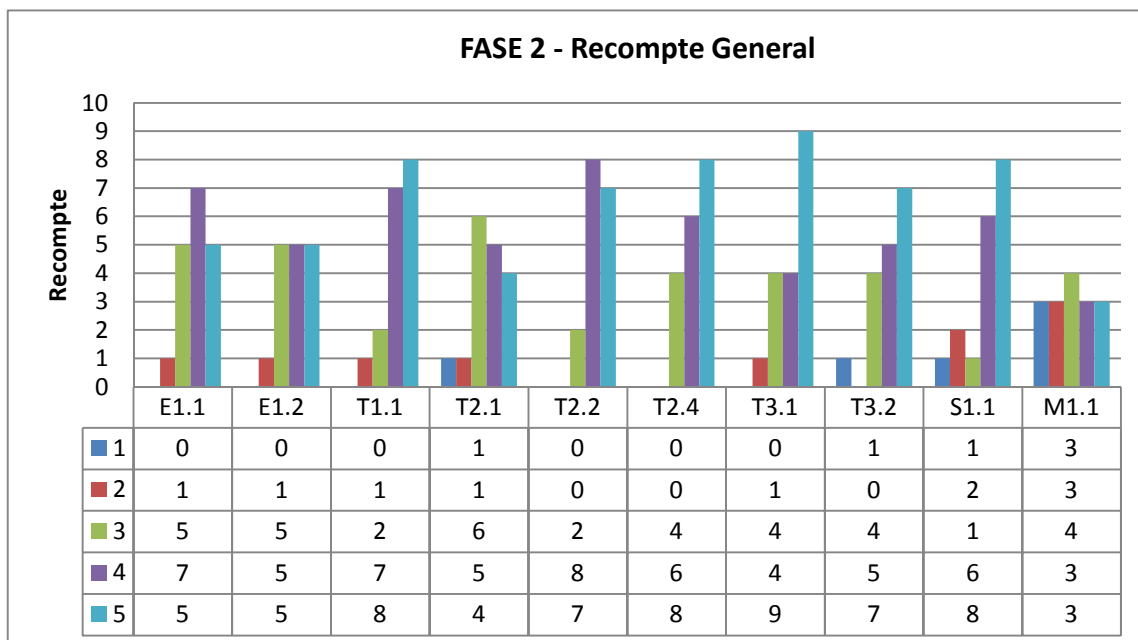


Fig. 5.2. Gràfic de barres resultant de les ponderacions dels criteris de la Fase 2

FASE 2					
Criteri		Promig	Indicador		Promig
E1	Cost	0,99	E1.1	Inversió inicial	3,89
			E1.2	Cost total	3,88
T1	Manteniment	1,08	T1.1	Facilitat de manteniment extraordinari (p.e.: ruptures i buidat)	4,22
T2	Aplicació de la tecnologia	1,03	T2.1	Possibilitat de construir en altura de la comunitat elegida	3,59
			T2.2	Vida útil	4,29
			T2.3	Facilitat de manteniment/instal·lació sense necessitat de personal qualificat	4,22
T3	Disponibilitat de recursos	1,04	T3.1	Materials disponibles localment i facilitat de transportar aquests materials en zones aïllades i de difícil accés	4,17
			T3.2	Relació de litres diaris d'aigua necessària per quantitat de fem d'animal	4,00
S1	Manutenció	1,02	S1.1	Hores diàries requerides per l'operació i manteniment ordinari del biodigestor (càrrega del digestor, verificar el funcionament de les vàlvules, reservori, desherbament, etc.)	4,00
M1	Impacte	0,76	M1.1	Impacte mediambiental dels materials utilitzats	3,00

Taula. 5.3. Promig de ponderacions dels criteris de la Fase 2

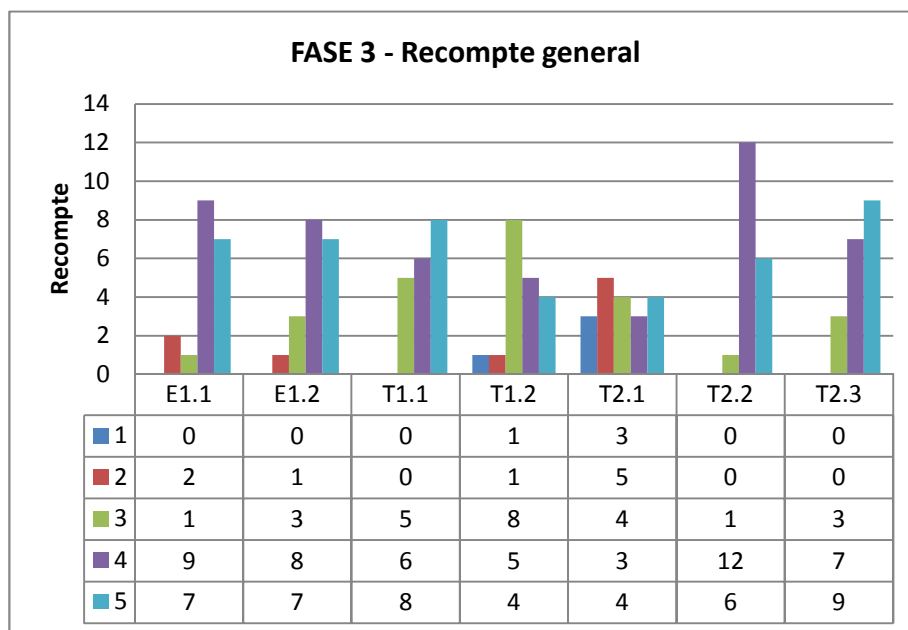


Fig. 5.3. Gràfic de barres resultant de les ponderacions dels criteris de la Fase 2

FASE 3					
Criteri		Promig	Indicador		Promig
E1	Cost	1,05	E1.1	Inversió inicial	4,11
			E1.2	Cost total o cost de manteniment	4,11
T1	Producció	0,98	T1.1	Biogàs obtingut	4,16
			T1.2	Quantitat de digestat obtingut	3,53
T2	Aplicació de la tecnologia	0,98	T2.1	Superfície que ocupa	3,00
			T2.2	Durabilitat/Vida útil	4,26
			T2.3	Facilitat de manteniment	4,32

Taula. 5.4. Promig de ponderacions dels criteris de la Fase 3

S'observa que els resultats de la mitjana global de les ponderacions per als 22 experts consultats són molt semblants entre ells a les 3 fases. Per aquest motiu i per poder avaluar les alternatives segons l'opinió de diferents experts, es proposa la segregació dels resultats de les ponderacions finals diferenciant segons el tipus de perfil dels participants.

Les ponderacions extretes responen a les següents divisions:

- Segons tipus de perfil professional: tècnic o professor/investigador
- Segons el tipus de clima amb el que han treballat: tropical o de muntanya
- Segons el grau d'experiència: selecció de les ponderacions dels experts que tenen major grau d'experiència en l'àmbit d'aplicació.

5.1. Resultats segons diferenciació de perfils

5.1.1. Tipus de perfil professional

A les taules 5.5, 5.6 i 5.7 s'ha fet una diferenciació segons el tipus de perfil professional i s'han extret les ponderacions d'aquells participants amb un perfil Tècnic (1/1') i amb un perfil de Professor/Investigador (2/2') i s'han comparat entre ells per veure si s'observen diferències significatives entre ells i amb el resultat de pesos General (0/0') extret del conjunt de les 22 enquestes.

FASE 1									
Criteri	Promig				Indicador	Promig			
	Gral. (0)	Tec. (1)	Prof. (2)	(1)-(2)		Gral. (0')	Tec. (1')	Prof. (2')	(1')-(2')
S1	0,96	0,97	0,96	1%	S1.1	3,35	3,50	3,38	3%
					S1.2	3,64	3,78	3,60	5%
S2	1,01	1,07	1,04	2%	S2.1	3,67	4,00	3,79	6%
S3	0,98	0,93	0,94	0%	S3.1	3,57	3,50	3,40	3%
S4	1,02	0,98	1,10	-12%	S4.1	4,41	4,33	4,53	-5%
					S4.2	3,05	3,00	3,43	-14%
S5	1,05	0,98	1,00	-2%	S5.1	3,81	3,67	3,64	1%
M1	1,02	1,05	1,04	1%	M1.1	4,00	4,22	3,93	7%
					M1.2	3,36	3,67	3,33	10%
					M1.3	3,82	3,89	4,00	-3%
T1	0,81	0,95	0,75	24%	T1.1	2,95	3,56	2,73	28%
T2	1,04	1,01	1,01	0%	T2.1	4,14	4,00	3,87	3%
					T2.2	3,00	3,33	3,14	6%
					T2.3	4,25	4,00	4,00	0%

Taula. 5.5. Promig de ponderacions dels criteris de la Fase 1 segons tipus de perfil professional

FASE 2									
Criteri	Promig				Indicador	Promig			
	Gral. (0)	Tec. (1)	Prof. (2)	(1)-(2)		Gral. (0')	Tec. (1')	Prof. (2')	(1')-(2')
E1	0,99	0,96	0,98	-2%	E1.1	3,89	3,75	3,93	-5%
					E1.2	3,88	4,00	3,77	6%
T1	1,08	1,09	1,07	1%	T1.1	4,22	4,38	4,21	4%
T2	1,03	1,03	1,03	0%	T2.1	3,59	3,63	3,54	2%
					T2.2	4,29	4,43	4,21	5%
					T2.4	4,22	4,38	4,36	0%
T3	1,04	1,01	1,07	-6%	T3.1	4,17	4,13	4,36	-6%
					T3.2	4,00	4,00	4,08	-2%
S1	1,02	0,99	1,02	-2%	S1.1	4,00	4,00	4,00	0%
M1	0,76	0,90	0,74	21%	M1.1	3,00	3,63	2,92	24%

Taula. 5.6. Promig de ponderacions dels criteris de la Fase 2 segons tipus de perfil professional

FASE 3									
Criteri	Promig				Indicador	Promig			
	Gral. (0)	Tec. (1)	Prof. (2)	(1)-(2)		Gral. (0')	Tec. (1')	Prof. (2')	(1')-(2')
E1	1,05	1,02	1,01	1%	E1.1	4,11	4,29	4,15	3%
					E1.2	4,11	3,75	4,00	-6%
T1	0,98	0,99	1,02	-4%	T1.1	4,16	3,88	4,38	-12%
					T1.2	3,53	3,88	3,85	1%
T2	0,98	1,00	0,98	2%	T2.1	3,00	3,38	3,23	5%
					T2.2	4,26	4,13	4,23	-2%
					T2.3	4,32	4,25	4,31	-1%

Taula. 5.7. Promig de ponderacions dels criteris de la Fase 3 segons tipus de perfil professional

5.1.2. Tipus de clima

A les taules 5.8, 5.9 i 5.10 s'ha fet una diferenciació segons el tipus de clima on han treballat els experts i s'han extret les ponderacions d'aquells participants que han treballat en un clima Tropical (3/3') i en un clima de Muntanya (4/4') i s'han comparat entre ells per veure si s'observen diferències significatives entre ells i amb el resultat de pesos General (0/0') extret del conjunt de les 22 enquestes.

FASE 1									
Criteri	Promig				Indicador	Promig			
	Gral. (0)	Trop. (3)	Mun. (4)	(3)-(4)		Gral. (0')	Trop. (3')	Mun. (4')	(3')-(4')
S1	0,96	0,98	0,91	7%	S1.1	3,35	3,60	3,18	12%
					S1.2	3,64	3,92	3,67	7%
S2	1,01	0,97	1,11	-13%	S2.1	3,67	3,73	4,17	-12%
S3	0,98	1,00	0,94	6%	S3.1	3,57	3,83	3,55	8%
S4	1,02	0,98	0,98	-1%	S4.1	4,41	4,42	4,42	0%
					S4.2	3,05	3,09	3,00	3%
S5	1,05	1,00	1,16	-15%	S5.1	3,81	3,83	4,36	-14%
M1	1,02	1,09	0,95	13%	M1.1	4,00	4,42	3,58	21%
					M1.2	3,36	3,92	3,17	22%
					M1.3	3,82	4,17	4,00	4%
T1	0,81	0,80	0,93	-15%	T1.1	2,95	3,08	3,50	-14%
T2	1,04	1,02	1,08	-5%	T2.1	4,14	4,25	4,42	-4%
					T2.2	3,00	3,09	3,25	-5%
					T2.3	4,25	4,40	4,50	-2%

Taula. 5.8. Promig de ponderacions dels criteris de la Fase 1 segons tipus de clima

FASE 2									
Criteri	Promig				Indicador	Promig			
	Gral. (0)	Trop. (3)	Mun. (4)	(3)-(4)		Gral. (0')	Trop. (3')	Mun. (4')	(3')-(4')
E1	0,99	0,99	1,07	-8%	E1.1	3,89	4,00	4,11	-3%
					E1.2	3,88	4,25	4,13	3%
T1	1,08	0,99	1,13	-13%	T1.1	4,22	4,11	4,33	-5%
T2	1,03	1,02	1,03	-1%	T2.1	3,59	4,00	3,25	21%
					T2.2	4,29	4,56	4,50	1%
					T2.4	4,22	4,22	4,11	3%
T3	1,04	1,03	0,99	3%	T3.1	4,17	4,56	3,78	19%
					T3.2	4,00	4,00	3,86	4%
S1	1,02	0,99	0,93	6%	S1.1	4,00	4,11	3,56	14%
M1	0,76	0,90	0,72	24%	M1.1	3,00	3,75	2,75	33%

Taula. 5.9. Promig de ponderacions dels criteris de la Fase 2 segons tipus de clima

FASE3									
Criteri	Promig				Indicador	Promig			
	Gral. (0)	Trop. (3)	Mun. (4)	(3)-(4)		Gral. (0')	Trop. (3')	Mun. (4')	(3')-(4')
E1	1,05	1,05	1,07	-1%	E1.1	4,11	4,50	4,20	7%
					E1.2	4,11	4,10	4,30	-5%
T1	0,98	0,94	0,98	-4%	T1.1	4,16	3,90	4,40	-12%
					T1.2	3,53	3,80	3,40	11%
T2	0,98	1,00	0,97	3%	T2.1	3,00	3,60	3,00	20%
					T2.2	4,26	4,30	4,30	0%
					T2.3	4,32	4,40	4,30	2%

Taula. 5.10. Promig de ponderacions dels criteris de la Fase 3 segons tipus de clima

5.1.3. Segons grau d'experiència

A les taules 5.11, 5.12 i 5.13 s'ha fet una selecció de les ponderacions d'aquells participants que tenen un grau d'experiència més elevat respecte els altres (5/5') i s'ha comparat amb el resultat de pesos General (0/0') extret del conjunt de les 22 enquestes.

FASE 1							
Criteri	Promig			Indicador	Promig		
	Gral. (0)	Exp. (5)	(0)-(5)		Gral. (0')	Exp. (5')	(0')-(5')
S1	0,96	0,92	4%	S1.1	3,35	3,36	0%
				S1.2	3,64	3,25	11%
S2	1,01	0,95	5%	S2.1	3,67	3,42	7%
S3	0,98	1,11	-14%	S3.1	3,57	4,00	-12%
S4	1,02	0,99	4%	S4.1	4,41	4,08	7%
				S4.2	3,05	3,00	2%
S5	1,05	0,96	8%	S5.1	3,81	3,45	9%
M1	1,02	1,10	-7%	M1.1	4,00	4,00	0%
				M1.2	3,36	3,75	-11%
				M1.3	3,82	4,08	-7%
T1	0,81	0,77	6%	T1.1	2,95	2,75	7%
T2	1,04	1,03	1%	T2.1	4,14	4,08	1%
				T2.2	3,00	2,75	8%
				T2.3	4,25	4,27	-1%

Taula. 5.11. Promig de ponderacions dels criteris de la Fase 1 segons el grau d'experiència

FASE 2							
Criteri	Promig			Indicador	Promig		
	Gral. (0)	Exp. (5)	(0)-(5)		Gral. (0')	Exp. (5')	(0')-(5')
E1	0,99	0,99	-1%	E1.1	3,89	3,78	3%
				E1.2	3,88	3,63	6%
T1	1,08	1,04	3%	T1.1	4,22	3,89	8%
T2	1,03	1,03	0%	T2.1	3,59	3,13	13%
				T2.2	4,29	4,11	4%
				T2.4	4,22	4,22	0%
T3	1,04	1,03	1%	T3.1	4,17	4,11	1%
				T3.2	4,00	3,56	11%
S1	1,02	0,96	6%	S1.1	4,00	3,56	11%
M1	0,76	0,87	-14%	M1.1	3,00	3,25	-8%

Taula. 5.12. Promig de ponderacions dels criteris de la Fase 2 segons el grau d'experiència

FASE 3							
Criteri	Promig			Indicador	Promig		
	Gral. (0)	Exp. (5)	(0)-(5)		Gral. (0')	Exp. (5')	(0')-(5')
E1	1,05	1,06	-2%	E1.1	4,11	4,22	-3%
				E1.2	4,11	3,89	5%
T1	0,98	0,92	6%	T1.1	4,16	3,67	12%
				T1.2	3,53	3,33	5%
T2	0,98	1,01	-3%	T2.1	3,00	3,22	-7%
				T2.2	4,26	4,22	1%
				T2.3	4,32	4,11	5%

Taula. 5.13. Promig de ponderacions dels criteris de la Fase 3 segons el grau d'experiència

6. Validació de la eina

Per a la validació de la eina s'han utilitzat estudis realitzats al departament de Cajamarca al Perú situat a la regió nord dels Andes peruans. Aproximadament un 50% de la població del departament de Cajamarca viu en zones rurals amb una economia basada en l'autosuficiència per mitjà de l'agricultura i la ramaderia. En molts dels casos hi ha encara una manca de serveis bàsics com l'abastiment d'aigua potable o l'accés a l'electricitat. La crema de la biomassa suposa entre un 65% i un 75% del consum total d'energia per a la cuina en sistemes poc controlats que generen molt de fum i afecten a la salut de les persones

S'han utilitzat les dades de 3 comunitats on ja s'hi han realitzat projectes de biodigestors prèviament i se'n coneixen els resultats obtinguts. S'ha aplicat el procediment de la programació compromís descrita a l'apartat 3.3 als tres nivells de decisió.

Per al nivell 1, les alternatives d'estudi corresponen a les comunitats per a les quals es vol estudiar a quina és millor la realització d'un projecte d'instal·lació de biodigestors. Les 3 comunitats de les quals s'han pres les dades per validar l'eina són les següents:

- Comunitat 1: centro poblado de Yanancancha, distrito de Encañada, Provincia de Cajamarca, Región de Cajamarca, Perú.
- Comunitat 2: centro poblado Chaquil, distrito La Esperanza, Provincia de Santa Cruz, Región de Cajamarca, Perú.
- Comunitat 3: centro poblado Peña Blanca, distrito Pulan, Provincia de Santa Cruz, Región de Cajamarca, Perú.

Les dades per poder assignar els valors dels diferents criteris per a la primera alternativa (Comunitat 1), s'han extret de l'article *Evaluating benefits of low-cost household digesters for rural Andean communities* [8] que avalua un projecte d'instal·lació de biodigestors de baix cost que al departament de Cajamarca al cap de 4 anys dut a terme conjuntament per diferents ONGs, locals i internacionals, amb la UPC.

Les dades per poder assignar els valors dels diferents criteris per a les segona i tercera alternatives (Comunitats 2 i 3), s'han extret dels diferents informes del projecte "*BIODIGESTORES una alternativa familiar para el uso de energías limpias en los hogares y la protección de los bosques naturales de la provincia de Santa Cruz – Región Cajamarca*" [4] [20] promogut per DIACONIA en diverses comunitats i districtes de la província de Santa Cruz.

En aquest apartat s'aplica la metodologia descrita a l'apartat 3 per als 3 nivells de decisió. En cadascun s'expliciten primer les dades d'entrada, és a dir, els valors dels diferents indicadors per a cada alternativa estudiada i posteriorment, amb les dades ja conegudes, es calcula la funció objectiu exposada a l'apartat 3.

6.1. Aplicació a la fase 1

6.1.1. Introducció de dades fase 1

A la següent taula s'han escrit les dades d'entrada dels diferents criteris de la fase 1 per a les 3 comunitats:

Indicador		Encañada - Yanacancha	Chaquil - La Esperanza	Peña Blanca - Pulan	Unitats
S1.1	IDH	0,5188	0,5476	0,5706	idh
S1.2	Nombre de famílies que són beneficiàries potencials (o població rural)	12	12	7	Nombre de famílies
S2.1	Nombre de famílies involucrades en campanyes de sensibilització i/o en projectes exitosos anteriors (o nombre de campanyes fetes a la comunitat)	3	2	3	Qualitatiu 1 a 5
S3.1	Presència de cuines millorades	0	5	25	%
S4.1	Facilitat d'obtenció d'un combustible alternatiu	3	3	3	Qualitatiu 1 a 5
S4.2	Facilitat d'aconseguir mètode de fertirrigació alternativa	100	29,8	27,7	%
S5.1	Capacitat de pagament	568,25	272,92	275	Soles/mes
M1.1	Problemes de contaminació (sòl i aigua) degut a residus orgànics que es poden tractar amb biodigestors.	0	0	0	Qualitatiu 1 a 5
M1.2	Problemes de desforestació	2	2	2	Qualitatiu 1 a 5
M1.3	Presència de cultiu	3,79	1,075	1,275	ha/família
T1.1	Presència de personal qualificat dins la comunitat	100	85	100	%
T2.1	Facilitat d'accés a l'aigua durant totes les èpoques de l'any	5	5	5	Qualitatiu 1 a 5
T2.2	Temperatura ambient mitjana	13	18,3	16,3	°C
T2.3	Presència de bestiar	5,14	6,05	8,45	Nombre vaques/família

Taula. 6.1. Dades entrada per a l'aplicació a un cas real – Fase 1

Donada la dificultat d'extracció d'algunes de les dades i que no per a tots els casos s'ha pogut quantificar i s'ha hagut de fer una valoració qualitativa, a continuació s'especifiquen alguns detalls de les dades d'entrada:

- **S1.1:** S'ha indicat l'IDH de cada regió [11]
- **S1.2 :** S'ha comptabilitzat amb el nombre de famílies on es van realitzar els projectes anteriorment esmentats.
- **S2.1:** S'ha valorat de forma qualitativa tenint en compte que a les 3 comunitats hi ha hagut un elevat nombre de campanyes però que per al cas de Pulán el nombre és especialment elevat [4].
- **S3.1:** S'ha quantificat introduint el percentatge de famílies que disposa de cuina millorada.
- **S4.1:** S'ha valorat de forma qualitativa tenint en compte en que totes 3 comunitats el mètode d'obtenció de combustible és el mateix, la llenya.
- **S4.2:** S'ha quantificat com amb el percentatge de famílies que utilitzen fertilitzant.
- **S5.1:** S'ha quantificat com la mitjana d'ingressos per família en [soles/mes].
- **M1.1:** S'ha valorat de forma qualitativa i per igual a les 3 comunitats donat que no es coneixen problemes de contaminació per a cap dels 3 casos.
- **M1.2:** S'ha valorat de forma qualitativa i per igual donat que, tot i que se sap que hi ha greus problemes de contaminació a la regió de Cajamarca, no es disposa de dades concretes per a les comunitats o per als districtes.
- **M1.3:** S'ha quantificat com la mitjana d'hectàrees per família.
- **T1.1:** S'ha quantificat com el percentatge de famílies que estaven disposades a ser capacitades.
- **T2.1:** S'ha valorat de forma qualitativa i per igual donat que se sap que hi ha aigua disponible a prop per a totes les famílies.
- **T2.2:** S'ha indicat la temperatura ambient mitjana de cada regió [3].
- **T2.3:** S'ha quantificat com la mitjana de vaques per família.

6.1.2. Obtenció de resultats fase 1

Per al primer cas d'anàlisi de resultats, les alternatives considerades a la fase 1 i amb els pesos de mitjana global obtinguts, s'aplicarà amb detall el procediment descrit a l'apartat 3.3. A partir de llavors, s'indicaran directament els valors obtinguts de l'aplicació de les fórmules amb els diferents pesos a totes les alternatives.

A la part superior de la taula 6.2 es mostren els resultats d'aplicar la fórmula (3.6) a tots els indicadors amb les ponderacions de la fase 1 classificades com a "general" a l'apartat 5. A la part final de taula es mostren els valors de L_1 , L_∞ i la seva semisuma després d'aplicar el procediment descrit a l'apartat 3.

Indicador	Comunitat 1	Comunitat 2	Comunitat 3
S1.1	0,00	1,79	3,21
S1.2	0,00	0,00	3,49
S2.1	0,00	3,69	0,00
S3.1	0,00	0,70	3,50
S4.1	0,00	0,00	0,00
S4.2	3,12	0,09	0,00
S5.1	0,00	3,98	3,95
M1.1	0,00	0,00	0,00
M1.2	0,00	0,00	0,00
M1.3	0,00	3,91	3,62
T1.1	0,00	2,40	0,00
T2.1	0,00	0,00	0,00
T2.2	3,12	0,00	1,18
T2.3	4,43	3,21	0,00
L_1	10,67	19,76	18,95
L_∞	4,43	3,98	3,95
$\alpha \cdot L_1 + (1-\alpha) \cdot L_\infty$	7,55	11,87	11,45

Taula. 6.2. Aplicació de la combinació de L_1 i L_∞ per als criteris de la Fase 1 amb les ponderacions classificades com a General

Amb els resultats de la semisuma es pot establir un ordre de preferència de les 3 alternatives d'estudi prioritant aquelles en les quals s'obtingui una distància menor al valor òptim.

Per a aquest cas, l'ordre de preferència seria la comunitat 1, seguida per la comunitat 3 i per últim la comunitat 2.

A continuació es resumeixen en una taula els resultats obtinguts després d'aplicar el procediment complet amb els 6 resums de resultats extrets de les enquestes i reflectits al capítol 5.

FASE 1	General	Perfil		Clima		Grau d'experiència
		Tècnic	Professor/ investigador	Tropical	de Muntanya	
Comunitat 1	7,55	7,18	7,52	7,57	8,07	7,30
Comunitat 2	11,87	12,57	11,72	12,52	13,82	11,78
Comunitat 3	11,45	11,36	11,21	12,28	12,22	11,77

Taula. 6.3. Resultats d'aplicar el multicriteri a les 3 alternatives de la Fase 1 amb les diferents ponderacions considerades.

Com es pot observar, per a tots els casos proposats, la comunitat on resulta un distància menor a l'ideal és la comunitat 1, Yanacancha.

Analitzant els informes de resultats dels projectes d'instal·lació de biodigestors a les 3 comunitats on s'ha aplicat la eina, es pot observar que el projecte de la comunitat de Yanacancha va ser un projecte d'èxit ja que dels 12 biodigestors que es van instal·lar a la comunitat, seguien tots 12 en funcionament al cap de 4 anys i les famílies els havien incorporat al seu estil de vida diari. En canvi, en el projecte d'instal·lació de biodigestors a les comunitats de Chaquil i Peña Blanca, va haver-hi diversos casos d'abandonament dels biodigestors per part de les famílies.

A continuació es descriuen algunes de les conclusions extretes al final dels 2 projectes que permeten comparar amb els indicadors escollits per a l'avaluació de les alternatives:

YANACANCHA

1. El 100% dels biodigestors instal·lats estaven en funcionament normal per les famílies beneficiàries al cap de 4 anys.
2. Els beneficiaris seleccionats pertanyien a associacions que ja havien treballat amb les ONGs que van promoure el projecte.
3. Els beneficiaris havien de complir una sèrie de requisits: baix nivell adquisitiu, disposició de bestiar i falta de cuines millorades.
4. Els beneficiaris i el personal tècnic van col·laborar durant la implementació dels biodigestors. A més a més, les organitzacions locals van organitzar tallers amb l'objectiu de capacitar els interessats per a l'execució, gestió i manteniment de la tecnologia.

CHAQUIL I PEÑA BLANCA

1. En el cas del projecte d'instal·lació de biodigestors a Chaquil i Peña Blanca, només un 35% de famílies beneficiàries van romandre fins al final de projecte mentre que el 65% restant va abandonar la tecnologia.
2. S'atribueix l'abandonament del projecte de les famílies a diversos motius com per exemple que no estaven en capacitat de complir amb la contrapartida proposada, van desistir per voluntat pròpia, per falta de compromís amb les tasques assignades, per migració o per la venda del seu bestiar, etc.
3. En el procés de reflexió posterior a la instal·lació dels biodigestors, l'equip del projecte realça que atribueixen l'abandonament al no haver dedicat suficient temps a la selecció dels beneficiaris abans de la implementació del projecte i conclou que abans de l'inici d'un projecte d'aquest tipus s'ha de seguir un procediment rigorós per a la seva selecció per tal d'evitar l'abandonament del projecte o els incompliments durant la seva execució. Principalment remarca la importància de que l'usuari del biodigestor assoleixi un alt nivell de compromís amb el projecte sent una de les maneres atorgar-li responsabilitats des d'un inici i aplicar el co-finançament per tal de fomentar la contrapartida dels beneficiaris i a més enforteix el seu involucrament, convertint-los en actors principals del procés ja que es garanteix que aportin la seva mà d'obra a la construcció de la infraestructura. Aquest fet a més, influeix de forma directa sobre les capacitats de les famílies i contribueix a la capacició per a la posterior operació i manteniment dels biodigestors.

A la taula 6.4 s'han realçat els valors no nuls, és adir, aquells valors que més s'allunyen de la solució ideal per tal d'analitzar quins són aquells indicadors que influeixen en la diferència de resultats obtinguts a les 3 comunitats.

Es pot observar que, la comunitat amb un resultat general més positiu (comunitat 1 – Yanacancha) no és la que té els aspectes tècnics amb valors més favorables, sinó que els que marquen la major distància amb les altres 2 comunitats són els aspectes socials. Aquest fet concorda amb les conclusions del projecte de les comunitats 2 i 3 que fan especial èmfasi en les mesures per l'apropiació de la tecnologia per part de les famílies.

Indicador	Comunitat 1	Comunitat 2	Comunitat 3
S1.1	0,00	1,79	3,21
S1.2	0,00	0,00	3,49
S2.1	0,00	3,69	0,00
S3.1	0,00	0,70	3,50
S4.1	0,00	0,00	0,00
S4.2	3,12	0,09	0,00
S5.1	0,00	3,98	3,95
M1.1	0,00	0,00	0,00
M1.2	0,00	0,00	0,00
M1.3	0,00	3,91	3,62
T1.1	0,00	2,40	0,00
T2.1	0,00	0,00	0,00
T2.2	3,12	0,00	1,18
T2.3	4,43	3,21	0,00

Taula. 6.4. Valors de cada indicador de la Fase 1 abans de fer la semisuma de L_1 i L_∞ amb les ponderacions classificades com a General

6.2. Aplicació a la fase 2

6.2.1. Introducció de dades fase 2

Per a la fase 2, selecció del tipus de tecnologia a implementar, les alternatives d'estudi són fixes: biodigestor tubular de plàstic o biodigestor de formigó. A la taula 6.5 s'escriuen les dades d'entrada dels diferents indicadors de la fase 2 per a les 2 alternatives.

Indicador		Tubular plàstic	Formigó	Unitats
E1.1	Inversió inicial	706,00	1963,00	\$
E1.2	Cost total	1729,00	1963,00	\$
T1.1	Facilitat de manteniment extraordinari (p.e.: ruptures i buidat)	2	2	Qualitatiu 1 a 5
T2.1	Possibilitat de construir en altura de la comunitat elegida	5	4	Qualitatiu 1 a 5
T2.2	Vida útil	7,5	17,5	Anys
T2.3	Facilitat de manteniment/instal·lació sense necessitat de personal qualificat	4	2	Qualitatiu 1 a 5
T3.1	Materials disponibles localment i facilitat de transportar aquests materials en zones aïllades i de difícil accés	4	2	Qualitatiu 1 a 5
T3.2	Relació de litres diaris d'aigua necessària per quantitat de fem d'animal	3	1	L/kg fem
S1.1	Hores diàries requerides per l'operació i manteniment ordinari del biodigestor (càrrega del digestor, verificar el funcionament de les vàlvules, reservori, desherbament, etc.)	1	0,75	Hores
M1.1	Impacte mediambiental dels materials utilitzats	4	2	Qualitatiu 1 a 5

Taula. 6.5. Dades entrada per a l'aplicació a un cas real – Fase 2

A continuació es detalla com s'han obtingut les dades de cada indicador per a les 2 alternatives.

- **E1.1:** S'ha considerat el preu en dòlars de la inversió inicial que té un biodigestor de 10m³ [9].
- **E1.2:** S'ha considerat el preu en dòlars del cost total que té un biodigestor de 10m³ [9].
- **T1.1:** S'ha valorat de forma qualitativa i per igual tenint en compte que als biodigestors de plàstic és molt més fàcil fer reparacions que als de formigó però fer el buidat del biodigestor resulta molt més complicat.

- **T2.1:** S'ha valorat de forma qualitativa tenint en compte que a la comunitat de Yanacancha hi ha zones situades per sobre dels 3200msnm [1] i que els biodigestors tubulars de plàstic amb sostre hivernacle són capaços de mantenir una temperatura més elevada al seu interior que els de formigó i per tant s'adapten millor a les condicions de la comunitat.
- **T2.2:** Per al càlcul de la vida útil d'un biodigestor de plàstic, s'ha fet la mitjana del promig de vida d'un biodigestor de polietilè (5 anys) i d'un de geomembrana (10 anys) [9].

El mateix procediment s'ha seguit per al càlcul de la vida útil d'un biodigestor de formigó, s'ha fet la mitjana entre el promig de vida d'un biodigestor tipus xinès o camartec (20 anys) i un tipus hindú (15 anys) [9].

Cal tenir en compte però que per al cas dels biodigestors tubulars de plàstic, la vida útil pot variar molt en funció de les característiques específiques de la zona on es vol instal·lar (inundacions, presència d'animals) però sobretot va molt subjecte al tipus de ruptura que pateix el plàstic i de si existeix la possibilitat o no d'arreglar-lo. Per aquests motius és difícil establir una durabilitat mitjana per a aquest tipus de biodigestors.

- **T2.3:** S'ha valorat de forma qualitativa considerant que la instal·lació dels biodigestors de formigó és molt més complexa que la dels biodigestors tubulars de plàstic i per tant tenen una major necessitat de personal qualificat per a la seva instal·lació.
- **T3.2:** S'ha tingut en compte que la proporció d'aigua respecte la quantitat de matèria orgànica necessària per un biodigestor de plàstic és 3 respecte 1 i per un biodigestor de formigó és 1 respecte 1.
- **S1.1:** S'ha considerat que el temps mitjà necessari de manteniment per un biodigestor de plàstic és d'1 hora [13] i que en el biodigestor de formigó es redueix 1 quart d'hora donat a que mai s'instal·la amb hivernacle i aquest genera temps de treball degut a que s'ha de desherbar el seu interior quasi diàriament.
- **M1.1:** S'ha valorat de forma qualitativa considerant que l'impacte mediambiental del plàstic utilitzat als biodigestors de plàstic és més elevat que els materials usats als biodigestors de formigó degut al seu difícil reciclatge.

6.2.2. Obtenció de resultats fase 2

A continuació es resumeixen en una taula els resultats obtinguts després d'aplicar el procediment complet amb els 6 resums de resultats extrets de les enquestes i reflectits al capítol 5.

FASE 2	General	Perfil		Clima		Grau d'experiència
		Tècnic	Professor/ investigador	Tropical	de Muntanya	
Plàstic	9,68	10,18	9,64	10,45	9,19	9,17
Formigó	12,19	12,16	12,48	13,00	12,30	11,73

Taula. 6.6. Resultats d'aplicar el multicriteri a les 2 alternatives de la Fase 2 amb les diferents ponderacions considerades.

Com es pot observar, amb totes les ponderacions d'estudi resulta el biodigestor tubular de plàstic amb una distància menor a l'ideal tot i que la diferència de ponderació obtinguda és menor que per al cas estudiat a la fase 1.

A la taula 6.7 s'han realçat els valors no nuls, és a dir, aquells valors que més s'allunyen de la solució ideal per tal d'analitzar quins són aquells indicadors que influeixen en la diferència de resultats obtinguts en funció dels pesos amb les 2 alternatives:

Indicador	Plàstic	Formigó
E1.1	0,00	3,85
E1.2	0,00	3,83
T1.1	0,00	0,00
T2.1	0,00	3,69
T2.2	4,41	0,00
T2.3	0,00	4,34
T3.1	0,00	4,33
T3.2	4,16	0,00
S1.1	4,08	0,00
M1.1	2,29	0,00

Taula. 6.7. Valors de cada indicador de la Fase 2 abans de fer la semisuma de L_1 i L_∞ amb les ponderacions classificades com a General

Es pot observar que la relació d'indicadors que afavoreixen la selecció d'un tipus de biodigestor o altre està bastant repartida. A favor del biodigestor de plàstic hi ha els indicadors econòmics, i també 2 criteris tècnics com la disponibilitat de materials localment i la facilitat d'operar-lo amb de personal poc qualificat.

No obstant cal remarcar que el que fa realçar la selecció del biodigestor de plàstic en front del de formigó en aquest cas és en gran part degut a l'indicador T2.1, possibilitat de construir en totes les zones de la comunitat escollida independentment de l'altura sobre el nivell del mar a la que es trobin, ja que és una característica molt important pròpia de l'escenari de la comunitat escollida i que pot variar fàcilment escollint projectes a zones de característiques molt semblants però que no es trobin en altura com les comunitats dels Andes peruans.

Amb l'objectiu de veure quina hagués estat l'alternativa seleccionada, s'han recalculat els resultats de les 2 alternatives fent ommissió de l'indicador T2.1 a la taula 6.8 S'observa que el biodigestor de plàstic segueix sent el que dista menys de la solució ideal però amb una diferència molt baixa respecte el de formigó, especialment per als casos on s'usen les ponderacions classificades com a "tècnic" i "tropical".

FASE 2	General	Perfil		Clima		Grau d'experiència
		Tècnic	Professor/ investigador	Tropical	de Muntanya	
Plàstic	9,68	10,18	9,64	10,45	9,19	9,17
Formigó	10,35	10,30	10,66	10,95	10,63	10,13

Taula. 6.8. Resultats d'aplicar el multicriteri a les 2 alternatives de la Fase 2 amb les diferents ponderacions considerades fent ommissió de l'indicador T2.1

6.3. Aplicació a la fase 3

6.3.1. Introducció de dades fase 3

En aquest nivell de decisió, ocorre el mateix fenomen que en alguns casos de la fase 2, i el valor dels indicadors no depèn de les característiques específiques del lloc escollit. Per aquest motiu s'han elaborat 2 taules resum on s'han introduït les dades d'entrada orientatives per als 2 tipus de casos a estudiar exposats a l'apartat 0 que consisteixen en diferents configuracions de disseny per als 2 tipus de biodigestors.

Donat que a la fase 2 ha resultat un biodigestor tubular de plàstic implementat a la zona andina, les 12 alternatives considerades són les escrites a la taula 6.9:

Biodigestor tubular de plàstic	
Alternativa 1 (A1)	5m ³ - Polietilè - Sostre a una aigua
Alternativa 2 (A2)	5 m ³ - Polietilè - Sostre cúpula
Alternativa 3 (A3)	5m ³ - Geomembrana - Sostre a una aigua
Alternativa 4 (A4)	5m ³ - Geomembrana - Sostre cúpula
Alternativa 5 (A5)	10m ³ - Polietilè - Sostre a una aigua
Alternativa 6 (A6)	10m ³ - Polietilè - Sostre cúpula
Alternativa 7 (A7)	10m ³ - Geomembrana - Sostre a una aigua
Alternativa 8 (A8)	10m ³ - Geomembrana - Sostre cúpula
Alternativa 9 (A9)	15m ³ - Polietilè - Sostre a una aigua
Alternativa 10 (A10)	15m ³ - Polietilè - Sostre cúpula
Alternativa 11 (A11)	15m ³ - Geomembrana - Sostre a una aigua
Alternativa 12 (A12)	15m ³ - Geomembrana - Sostre cúpula

Taula. 6.9. Alternatives d'estudi de la Fase 3

Les dades d'entrada per aquest nivell són les indicades a continuació:

Indicador		A1	A2	A3	A4	A5	A6	Unitats
E1.1	Inversió inicial	193,45	203,45	475,45	485,45	386,90	396,90	\$
E1.2	Cost total o cost de manteniment	773,8	813,8	950,9	970,9	1547,6	1587,6	\$
T1.1	Biogàs obtingut	1,76	1,76	1,76	1,76	3,53	3,53	m ³ /dia
T1.2	Quantitat de digestat obtingut	62,50	62,50	62,50	62,50	125,00	125,00	L/dia
T2.1	Superfície que ocupa	4,86	4,86	4,86	4,86	8,25	8,25	m ²
T2.2	Durabilitat/Vida útil	5	5,5	10	10,5	5	5,5	Anys
T2.3	Facilitat de manteniment	1	1,5	2	2,5	1	1,5	Qualitatiu 1 a 5

Taula. 6.10. Dades entrada per a l'aplicació a un cas real – Fase 3

Indicador		A7	A8	A9	A10	A11	A12	Unitats
E1.1	Inversió inicial	950,9	960,90	580,35	590,35	1426,35	1436,35	\$
E1.2	Cost total o cost de manteniment	1901,8	1921,8	2321,4	2361,4	2852,7	2872,7	\$
T1.1	Biogàs obtingut	3,53	3,53	5,29	5,29	5,29	5,29	m ³ /dia
T1.2	Quantitat de digestat obtingut	125,00	125,00	187,50	187,50	187,50	187,50	L/dia
T2.1	Superfície que ocupa	8,25	8,25	10,63	10,63	10,63	10,63	m ²
T2.2	Durabilitat/Vida útil	10	10,5	5	5,5	10	10,5	Anys
T2.3	Facilitat de manteniment	2	2,5	1	1,5	2	2,5	Qualitatiu 1 a 5

Taula. 6.10 (continuació) Dades entrada per a l'aplicació a un cas real – Fase 3

A continuació s'especifica com s'han obtingut les dades d'entrada per a les 12 alternatives:

- **E1.1:** No existeixen dades concretes per a conèixer la inversió inicial que s'ha de fer per a cada tipus de biodigestor dependent del volum. Per aquest motiu, s'han extret les dades del cost d'inversió inicial d'alguns biodigestors en diverses experiències d'instal·lació de biodigestors familiars i se n'ha calculat el preu per metre cúbic [\$/m³]. El cost total s'ha calculat en dòlars multiplicant el volum del biodigestor pel preu mig per metre cúbic calculat. Els costos d'inversió inicial inclouen el cost dels materials i la mà d'obra.

A continuació és detall com s'ha extret el promig:

Geomembrana [19]			
Volum biodigestor [m ³]	Preu [\$]	Preu per metre cúbic [\$/m ³]	Preu mig [\$/m ³] (1)
5	\$ 581,10	116,22	95,09
7,5	\$ 682,90	91,05	
10	\$ 780,00	78	

Taula. 6.11. Cost biodigestor tubular de geomembrana

Polietilè [13]			
Volum biodigestor [m ³]	Preu [\$]	Preu per metre cúbic [\$/m ³]	Preu mig [\$/m ³] (2)
2,7	\$ 136,58	50,59	38,69
4	\$ 150,87	37,72	
8	\$ 222,15	27,77	

Taula. 6.12. Cost biodigestor tubular de polietilè

En el cas que s'estudiessin com a alternatives els 3 tipus de biodigestors de formigó, s'aplicaria el càlcul dels següents preus mitjos:

Camartec/ Tipus xinès [19]			
Volum biodigestor [m ³]	Preu [\$]	Preu per metre cúbic [\$/m ³]	Preu mig [\$/m ³] (3)
6	\$ 974,00	360,74	298,12
9	\$ 1.309,40	327,35	
12	\$ 1.650,10	206,26	

Taula. 6.13. Cost biodigestor Camartec i tipus xinès

Tipus hindú [6]			
Volum biodigestor [m3]	Preu [\$]	Preu per metre cúbic [\$/m3]	Preu mig [\$/m3] (4)
2,4	\$ 714,00	297,5	297,5

Taula. 6.14. Cost biodigestor tipus hindú

El cost d'inversió inicial per als biodigestors tipus camartec i xinès s'ha considerat equiparable degut a que pràcticament no hi ha variacions en els materials per a la seva construcció i la mà d'obra necessària és la mateixa per als dos.

- **E1.2:** Es considera cost total d'un biodigestor al cost que ha tingut aquest, tant el d'inversió inicial com el de possibles reparacions que poden sorgir, en un període de temps determinat. Per a aquest cas s'ha considerat un període de 20 anys.

Tenint en compte que la vida útil d'un biodigestor de polietilè és del promig de 5 anys i la vida útil d'un de geomembrana és de 10 anys [9] s'ha comptat que en el període establert, en el cas dels biodigestors de geomembrana tot el material associat (la bossa de plàstic que actua com a reactor, l'hivernacle, vàlvules, etc.) s'ha de canviar 2 vegades i per al cas dels biodigestors de polietilè, el material s'ha de canviar 4 vegades.

- **T1.1 & T1.2:** S'han calculat els litres de biogàs i efluent (fertilitzant) que es generen diàriament i que depenen de la quantitat de matèria orgànica que es carrega al biodigestor i de la temperatura en que treballa. A continuació es detalla com s'han obtingut els resultats:

El volum del biodigestor es pot expressar de la següent manera:

$$V_T = V_L + V_G \quad (6.1)$$

on:

- V_T és el volum total del biodigestor
- V_L és el volum de líquid a l'interior del biodigestor
- V_G és el volum de gas a l'interior del biodigestor

Es considera que la fase líquida ocupa un 75% de l'espai total i la fase gasosa ocupa el 25% restant. Per aquest motiu:

$$V_L = 3V_G \quad (6.2)$$

El volum de fase líquida a l'interior del biodigestor es pot expressar amb la següent fórmula:

$$V_L = QHRT \quad (6.3)$$

on:

Q és la càrrega diària que es fa al biodigestor, equivalent a la barreja d'aigua i fem amb relació 3:1

HRT és el temps de retenció hidràulica

Per al càlcul de biogàs i digestat s'ha considerat un temps de retenció hidràulica de 60 dies prenent l'exemple de projectes en emplaçaments similars [9].

Coneixent el temps de retenció hidràulica, podem conèixer el volum de càrrega necessari per a cada volum de biodigestor fent ús de les fórmules descrites anteriorment (6.2) i (6.3).

Per calcular la quantitat de biogàs diari que es genera s'ha considerat el rati de producció específica d'una experiència anterior d'un biodigestor tubular de plàstic instal·lat en altura, amb el mateix temps de retenció hidràulica i alimentat amb fem de vaca [9] igual a $0,47\text{m}^3$ biogàs· m^{-3} ·biodigestor·dia⁻¹. D'aquesta manera, coneixent el volum útil del biodigestor, equivalent a V_L , podem calcular la producció de biogàs diària.

La quantitat de digestat diària que s'extraurà del biodigestor serà equivalent a la càrrega diària (Q) que es fa al biodigestor amb la mescla d'aigua i matèria orgànica.

A la taula 6.15 escrita a continuació es resumeixen els valors dels diferents paràmetres descrits anteriorment:

V_T [L]	HRT [dies]	V_L [L]	Q [L/dia]	Aigua [L]	Fems [L]	Biogàs diari [m^3 /dia]	Digestat diari [L/dia]
5000	60	3750	62,50	46,88	15,63	1,76	62,50
10000	60	7500	125,00	93,75	31,25	3,53	125,00
15000	60	11250	187,50	140,63	46,88	5,29	187,50

Taula. 6.15. Paràmetres biodigestor en funció del seu volum

- **T2.1:** Per al càlcul de la superfície que ocupa el biodigestor, s'ha de tenir en compte que els tipus de rotllos de plàstic que es fan servir per a construir el biodigestor, només es troben en un seguit d'amplades concretes al mercat. Les més habituals són les d'1; 1,25; 1,50; 1,75 i 2 metres d'ample.

Tenint en compte que l'amplada equival a la meitat del perímetre, els diferents tipus de radis i seccions amb els que podem treballar seran els següents:

Amplada (m)	Radi (m)	Secció (m ²)
1	0,32	0,32
1,25	0,40	0,50
1,5	0,48	0,72
1,75	0,56	0,97
2	0,64	1,27

Taula. 6.16. Valors de radi i superfície en funció de l'amplada del rotllo de plàstic

Per tal d'aconseguir el volum de biodigestor desitjat, poden fer-se diverses configuracions però no convé que el biodigestor sigui massa curt ni massa llarg. Per això es considera que la relació entre la longitud i el diàmetre del biodigestor ha d'estar compresa entre 5 i 10.

Per als 3 volums de biodigestor escollits, les amplades de rotllo escollides són les següents:

Volum biodigestor (m ³)	Amplada (m)
5	1,5
10	1,75
15	2

Taula. 6.17. Amplada del rotllo de plàstic en funció del volum del biodigestor

Les bosses dels biodigestors es col·loquen sobre rases que són cavades a terra i que tenen un perfil en forma de trapezi com a la figura 6.1.

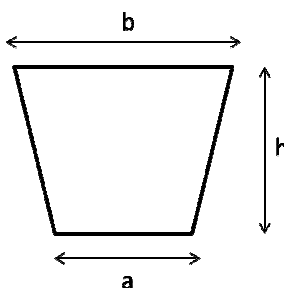


Fig. 6.1. Esquema forma rasa biodigestor tubular

Les configuracions proposades per als 3 volums de biodigestor són les següents:

Volum biodigestor (m ³)	Amplada (m)	Secció (m ²)	Longitud (m)	a (m)	b (m)	h (m)	Superfície (m ²)
5	1,5	0,72	6,94	0,5	0,7	0,8	4,86
10	1,75	0,97	10,31	0,6	0,8	0,9	8,25
15	2	1,27	11,81	0,7	0,9	1	10,63

Taula. 6.18. Dimensions rasa i biodigestor en funció del volum

- **T2.2:** S'ha considerat vida útil mitja de 5 anys pels biodigestors de polietilè i de 10 anys pels de geomembrana. En el cas de les alternatives que comporten la instal·lació d'un sostre a cúpula, s'ha considerat que augmenta la vida útil en 0,5 anys [9].
- **T2.3:** S'ha valorat de forma qualitativa considerant que els biodigestors de geomembrana tenen un manteniment més fàcil que els de polietilè degut a que és més fàcil realitzar-hi reparacions amb pegats per les característiques pròpies del material. S'ha considerat que el manteniment és més fàcil en els casos amb sostre a cúpula ja que facilita les tasques de desherbament i reparació del reactor [9].

6.3.2. Obtenció de resultats fase 3

A continuació es resumeixen en una taula els resultats obtinguts després d'aplicar el procediment complet amb els 6 resums de resultats extrets de les enquestes i reflectits al capítol 5.

FASE 3	General	Perfil		Clima		Grau d'experiència
		Tècnic	Professor/ investigador	Tropical	de Muntanya	
Alternativa 1	10,10	10,10	10,62	10,20	10,14	9,56
Alternativa 2	9,17	9,06	9,79	9,08	9,32	8,54
Alternativa 3	7,36	7,28	7,99	7,12	7,56	6,47
Alternativa 4	6,50	6,42	7,14	6,22	6,71	5,62
Alternativa 5	10,21	10,22	10,37	10,61	10,21	10,02
Alternativa 6	9,15	9,14	9,31	9,49	9,20	9,00
Alternativa 7	7,41	7,48	7,57	7,85	7,61	7,30
Alternativa 8	6,57	6,64	6,74	6,98	6,78	6,47
Alternativa 9	10,07	10,06	9,99	10,71	10,10	10,20
Alternativa 10	9,01	8,97	8,93	9,59	9,09	9,18
Alternativa 11	8,76	8,81	8,65	9,57	9,10	9,02
Alternativa 12	7,92	7,97	7,81	8,70	8,28	8,19

Taula. 6.19. Resultats d'aplicar el multicriteri a les 12 alternatives de la Fase 3 amb les diferents ponderacions considerades.

Per a aquest nivell de decisió, hi ha diverses alternatives amb resultats finals molt semblants entre ells. Les alternatives es classificarien amb el següent ordre de prioritats:

Alternativa	Descripció	Resultat mig
Alternativa 4	5m ³ - Geomembrana - Sostre cúpula	6,44
Alternativa 8	10m ³ - Geomembrana - Sostre cúpula	6,70
Alternativa 3	5m ³ - Geomembrana - Sostre a una aigua	7,30
Alternativa 7	10m ³ - Geomembrana - Sostre a una aigua	7,54
Alternativa 12	15m ³ - Geomembrana - Sostre cúpula	8,15
Alternativa 11	15m ³ - Geomembrana - Sostre a una aigua	8,99
Alternativa 10	15m ³ - Polietilè - Sostre cúpula	9,13
Alternativa 2	5m ³ - Polietilè - Sostre cúpula	9,16
Alternativa 6	10m ³ - Polietilè - Sostre cúpula	9,22
Alternativa 1	5m ³ - Polietilè - Sostre a una aigua	10,12
Alternativa 9	15m ³ - Polietilè - Sostre a una aigua	10,19
Alternativa 5	10m ³ - Polietilè - Sostre a una aigua	10,28

Taula. 6.20. Ordre de preferència de les alternatives en funció del resultat mig obtingut

Es pot veure en comú a totes les solucions que resulta com a millor els biodigestors de geomembrana independentment de la seva mida i el tipus de sostre tot i tenir un cost major respecte el de polietilè. Són llavors els indicadors T2.2 (Vida útil) i T2.3 (Facilitat de manteniment) els que afavoreixen positivament ja que són els únics que depenen del tipus de material utilitzat.

També es pot observar que les 2 alternatives amb millor resultat, i amb una distància molt petita entre elles, són aquelles que tenen el tipus de sostre cúpula. Aquesta diferència ve donada també pels mateixos indicadors que afavoreixen els biodigestors de geomembrana.

En referència a la mida dels biodigestors, no es veu un ordre clar de preferència en els resultats ja que els materials utilitzats (tipus de plàstic i tipus de sostre) han tingut una major influència. En qualsevol dels casos, per a la mida de biodigestor escollit és important comprovar que hi ha quantitat suficient d'aigua i fem disponible.

A la taula 6.21 s'han realçat els valors no nuls, és a dir, aquells valors que més s'allunyen de la solució ideal per tal de comprovar quins són aquells indicadors que influeixen en la diferència de resultats obtinguts amb les 12 alternatives:

Indicador	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6	Alt 7	Alt 8	Alt 9	Alt 10	Alt 11	Alt 12
E1.1	0,00	0,03	0,97	1,01	0,67	0,70	2,62	2,65	1,34	1,37	4,26	4,29
E1.2	0,00	0,08	0,36	0,40	1,58	1,66	2,31	2,35	3,17	3,25	4,25	4,29
T1.1	4,07	4,07	4,07	4,07	2,03	2,03	2,03	2,03	0,00	0,00	0,00	0,00
T1.2	3,45	3,45	3,45	3,45	1,73	1,73	1,73	1,73	0,00	0,00	0,00	0,00
T2.1	0,00	0,00	0,00	0,00	1,73	1,73	1,73	1,73	2,95	2,95	2,95	2,95
T2.2	4,19	3,81	0,38	0,00	4,19	3,81	0,38	0,00	4,19	3,81	0,38	0,00
T2.3	4,24	2,83	1,41	0,00	4,24	2,83	1,41	0,00	4,24	2,83	1,41	0,00

Taula. 6.21. Valors de cada indicador de la Fase 3 abans de fer la semisuma de L_1 i L_∞ amb les ponderacions classificades com a General

Es pot observar que per a les alternatives amb millor resultat final, Alternativa 4 i Alternativa 8, tenen valors nuls corresponents als indicadors T2.2 i T2.3 pel que es confirma que són els 2 indicadors que influeixen més positivament sobre el resultat final d'aquestes. També s'observa que els valors d'aquests indicadors són molt elevats per a les alternatives que consideren un biodigestor construït amb polietilè i per aquest motiu les alternatives que consideren la geomembrana se situen per sobre en tots els casos.

7. Impacte ambiental

La instal·lació de biodigestors de baix cost pot tenir efectes molt positius sobre el medi ambient ja que suposen una alternativa als mètodes convencionals d'obtenció d'energia. Els principals beneficis mediambientals de la implantació de biodigestors estan relacionats amb la reducció de les emissions de gasos i en la reducció de la desforestació:

- Reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle: es calcula que amb la instal·lació d'un biodigestor a una família hi ha una reducció d'un 50% o superior en les emissions de CO₂ tenint en compte les emissions de CO₂ abans de la instal·lació d'un biodigestor degudes a la crema de llenya per cuinar i a la falta de tractament dels residus orgànics [8].
- Reducció de la desforestació mitjançant la substitució de la llenya com a combustible pel biogàs: El consum de llenya es pot veure disminuït entre 1,5 i 3 tones de llenya a l'any en funció de les condicions mediambientals i de la producció de biogàs que es doni al biodigestor [8].

L'ús d'una eina com la presentada en aquest projecte té l'objectiu d'incrementar les possibilitats d'èxit d'un projecte d'instal·lació de biodigestors de baix cost i així complir amb els beneficis mediambientals previstos en la implantació d'un projecte. En el cas dels projectes que acaben fracassant per la falta d'apropiació de la tecnologia, el balanç ambiental resulta molt negatiu donat a la despesa de recursos innecessària destinats a la realització d'aquests.

8. Pressupost

Els costos del projecte realitzat s'han desglossat en els següents 2 conceptes: recursos humans i recursos materials. Se'n mostra el detall a la taula 8.1.

Concepte	Descripció	Quantitat	Preu unitari	Preu total
Recursos humans	Supervisió projecte	30 h	60,00 €/h	1.800,00 €
	Treball d'enginyeria	600 h	25,00 €/h	15.000,00 €
Recursos materials	Desplaçament en avió	1 viatge	1.100,00 €/viatge	1.100,00 €
	Desplaçament en transport públic	2 T-10	9,95 €/T-10	19,90 €
	Inscripció congrés	1 u	45,00 €/u	45,00 €
	Impressió i enquadernació	3 u	30 €/u	90 €
TOTAL				18.054,90€

Taula. 8.1. Pressupost elaboració del projecte

Conclusions

Amb aquest projecte s'ha volgut mostrar que l'ús d'una eina de presa de decisions, com les eines que apliquen l'anàlisi multicriteri, és adequada per a la correcta implementació d'un projecte de biodigestors de baix cost per tal d'assegurar-ne l'èxit a l'hora de la seva aplicació.

En aquest projecte s'ha desenvolupat una llista exhaustiva de criteris i indicadors sobre els quals es pot aplicar l'anàlisi multicriteri amb l'objectiu que serveixin de guia i assessorament per a persones o entitats que vulguin aplicar un projecte d'instal·lació de biodigestors de baix cost en països del sud.

Mitjançant la validació de la eina, s'ha observat el que pot llegir-se en moltes de les avaluacions de projectes finalitzats, i és que a l'hora de seleccionar les comunitats on es volen implementar els projectes, els aspectes socials que envolten les famílies beneficiàries i les comunitats tenen una influència molt important i sovint són una de les peces més clau per a l'èxit d'un projecte.

En relació al model de biodigestor a ser instal·lat i per a la comunitat de Yanacancha en concret, ha resultat rellevant que la comunitat es trobi per sobre dels 3000 msnm per a que la solució resultant hagi estat un biodigestor tubular de plàstic en comptes d'un de formigó. A més a més també han influït en el resultat final el cost del biodigestor, la facilitat de transport dels materials i la no necessitat de personal qualificat.

Pel que fa a les característiques de disseny del biodigestor tubular de plàstic, amb els indicadors proposats, han resultat com a millors opcions aquelles configuracions que proposaven l'ús d'aquells materials que allarguen la vida del biodigestor de plàstic com la geomembrana o en permeten un manteniment més fàcil com el sostre a cúpula tot i tenir un cost econòmic més elevat i independentment de la quantitat de digestat i biogàs produïts, proporcionals al volum del biodigestor.

Agraïments

A la Laia, l'Anna i la Ivet per descobrir-me el món dels biodigestors i donar-me la oportunitat de fer aquest PFC.

Als participants del VII congrés de la Red BioLAC per ensenyar-me molt compartint les seves experiències amb els biodigestors i per ajudar-me amb les enquestes per a poder fer aquest projecte.

Als amics i família que m'han donat molt de suport durant tota la carrera, especialment en les èpoques d'exàmens.

A Maite per ajudar-me amb els dubtes matemàtics de mitjanit.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] BOROBIO, J. *Resumen de experiencia con biodigestores familiares de bajo costo en Cajamarca*. Agosto 2009
- [2] CHENG, S. LI, Z. MANG, H. HUBA, E. GAO, R. WANG, X. *Development and application of prefabricated biogas digesters in developing countries*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34: 2014, p.387-400.
- [3] CLIMATE DATA. Datos climáticos mundiales. Recuperat el 13 de març a: <http://es.climate-data.org/>
- [4] DIACONIA. *Linea de base del proyecto: Biodigestores: una alternativa familiar para el uso de energías limpias en los hogares y la protección de los bosques naturales de la provincia de Santa Cruz Región Cajamarca*. DIACONIA 2013.
- [5] DOMENECH, B. *Metodología para el diseño de sistemas de electrificación autónomos para comunidades rurales*. Tesis Doctoral Universitat Politècnica de Catalunya: 2013.
- [6] DOMINGUEZ, D. GRANJA, J. GUACHAGMIRA, R. ROBALINO, L. *Experiencia Biodigestores, tecnología limpia para mitigar el cambio climático: Manual de construcción y operación de biodigestor tipo hindú y flujo continuo*. CARE: 2010.
- [7] GARFI, M. FERRER, L. *Decision-making criteria and indicators for water and sanitation projects in developing countries*. IWA Publishing. *Water Science & Technology* 64.1: 2011.
- [8] GARFI, M. FERRER, L. VELO, E. FERRER, I. *Evaluating benefits of low-cost household digesters for rural Andean communities*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 2012 p.575– 581
- [9] GARFI, M. MARTI, J. GARWOOD, A. FERRER, I. *Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: a review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60: 2016 p.599–614.
- [10] GARFI, M. TONDELLI, S. BONOLI, A. *Multi-criteria decision analysis for waste management in Saharawi refugee camps*. *Waste Management* 29: 2009 p.2729–2739.

- [11] HURBERT, M. BLALOCK H. *Aproximación al índice de desarrollo humano*
- [12] IDAE. *Biomasa: Digestores anaerobios*. IDAE: 2007.
- [13] MARTÍ, J. *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. GTZEnergía: 2008.
- [14] MARTÍ, J. *Desarrollo, difusión e implementación de tecnologías apropiadas: Biodigestores en Bolivia. Lecciones aprendidas del proyecto EnDev-Bolivia. 2007-2012*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH: 2013.
- [15] MARTÍ, J. Eficiencias de biodigestores tipo tubular (salchicha, plástico, etc.) y domo fijo (camartec, chino, etc.) Recuperat el 13 de març de 2016 a: <http://tallerbiogas.blogspot.hr/2014/12/eficiencias-de-biodigestores-tipo.html>
- [16] MENDOZA, G. MACOUN, P. *Guidelines for Applying Multi-Criteria Analysis to the Assessment of Criteria and Indicators*. Center for International Forestry Research: 1999.
- [17] PEREZ, I. GARFI, M. CADENA, E. FERRER, I. *Technical, economic and environmental assessment of household biogas digesters for rural communities*. Renewable Energy 62: 2014, p.313-318
- [18] ROMERO, C. *Análisis de las Decisiones Multicriterio*. ISDEFE: 1996.
- [19] VEEN, M. BOROBIO, J. ACOSTA, F. AMELLER, G. *Estudio de factibilidad para un programa nacional de biogás doméstico en Perú*. SNV: 2012.
- [20] VIDALON, R. QUISPE, F. *Sistematización del proyecto: Biodigestores: una alternativa familiar para el uso de energías limpias en los hogares y la protección de los bosques naturales de la provincia de Santa Cruz Región Cajamarca*. DIACONIA: 2014.
- [21] WANG, J. JING, Y. ZHANG, C. ZHAO, J. *Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making*. Renewable and Sustainable Energy Reviews: 2009

Bibliografia complementària

ABU, R. DAIM, T. *Multi-Criteria Applications in Renewable Energy Analysis, a Literature Review*

BOTERO, R. *El biodigestor de bajo costo, su aporte a la mitigación del cambio climático y su potencial para reducir la pobreza rural en América Latina y el Caribe*. Universidad EARTH

FERRER, I. GAMIZ, M. ALMEIDA, M. RUIZ, A. *Pilot project of biogas production from pig manure and urine mixture at ambient temperature in Ventanilla (Lima, Peru)*. Waste Management 29: 2009, p.168–173.

FERRER, I. GARFI, M. UGGETTI, E. FERRER, L. CALDERON, A. VELO, E. *Biogas production in low-cost household digesters at the Peruvian Andes*. Biomass and bioenergy 35: 2011 , p.1668-1674.

GUEVARA, A. *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes*. CEPIS: 1996.

HUERGA, I, BUTTI, M. VENTURELLI, L. *Biodigestores de pequeña escala. Un análisis práctico sobre su factibilidad*. INTA: 2014.

MARTI, J. *Biodigestores de bajo costo. Para producir biogás y fertilizante natural a partir de residuos orgánicos*. IDEASS

MARTI, J. CIPRIANO, J. *Design methodology for low cost tubular digesters* Bioresource Technology 108: 2012, p.21–27

OLAYA, Y. OCTAVIO, L. *Fundamentos para el diseño de biodigestores. Módulo para la asignatura de Construcciones Agrícolas*. Universidad nacional de Colombia sede Palmira: 2009.

POGGIO, D. FERRER, I. BATET, LI. VELO, E. *Adaptación de biodigestores tubulares de plástico a climas fríos*. Livestock Research for Rural Development 21 (9): 2009

TERRADAS, G. CUONG, P. TRIOLO, J. MARTI, J. SOMMER, S. *Thermic Model to Predict Biogas Production in Unheated Fixed- Dome Digesters Buried in the Ground*. American Chemical Society, 2014.

United Nations Asian and Pacific Centre for Agricultural Engineering and Machinery. *Recent developments in biogas technology for poverty reduction and sustainable development*. APCAEM: 2007.

VARNERO, MT. *Manual de biogás*. FAO: 2011.