Avaluació energètica de subproductes i residus orgànics biodegradables a Gàmbia

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

Autor: Júlia Carmona Maurici
Tutor: Xavier Flotats
25 / setembre / 2015
Treball final de grau
Enginyeria de Sistemes Biològics

Avaluació energètica de subproductes i residus orgànics biodegradables a Gàmbia

Autor: Júlia Carmona Maurici
Tutor: Xavier Flotats
25 / setembre / 2015
Treball final de grau
Enginyeria de Sistemes Biològics

Resum

Mitjançant la digestió anaeròbia es descompon la matèria orgànica i es genera un gas ric en metà: el biogàs. Aquest procés és un dels més adequats tan per a la gestió i l'aprofitament energètic dels residus orgànics com per a la conservació o millora dels productes tractats. A més, el tracament de residus realitzat amb aquesta tecnologia contribueix a la reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH).

A partir de l'estudi de la naturalesa de residus, els tipus de tractament i de la quantitat que se'n genera a Gàmbia, s'ha estimat el potencial energètic que es podria assolir digerint-los anaeròbiament.

Per altra banda, s'ha calculat el metà que s'allibera a l'atmosfera per justificar la necessitat de canvi i millora en la gestió dels residus. Seguint la metodologia proposada pel Panell Intergovernamental del Canvi Climàtic (IPCC) s'ha calculat que a Gàmbia s'emeten uns 59 Gg CH_4/any.

De l'estudi realitzat al present treball n'ha resultat que el potencial energètic disponible a partir de residus orgànics és de 39.309 TEP/any. Tenint en compte que no tota aquesta matèria és susceptible a de ser tractada o transportada, el potencial energètic obtingut dels residus més accessibles ha estat de 19.988TEP/any. Les regions amb més potencial energètic accessible són Central River i North Bank, principalment per la generació de residus biodegradables de l'agricultura.

Donat que a Gàmbia no s'aplica un tractament adequat ni a les aigües residuals ni als residus dels abocadors, s'ha inclòs a l'avaluació el càlcul del potencial energètic basat en tres hipòtesis:

1. Recuperació del 50% del metà alliberat pels abocadors mitjançant un reactor UASB.
2. Recuperació del 50% de metà alliberat per les aigües residuals tractant-les amb un reactor UASB.
3. Tractament aerobi simple aplicat a les aigües residuals.

Pel que fa a les hipòtesis 1 i 2 ha resultat que el potencial accessible augmentaria un 27,55% i que disminuirien les emissions a l'atmosfera 4,29 Gg CH_4/any, equivalents a 106.913,9 t CO_2eq/any: s'alliberaria un 8,63% menys de metà. En referència a la hipòtesi 3, les emissions de metà procedents de les aigües residuals disminuirien un 100% si es tractessin en una planta de tractament aerobi ben gestionada.

Finalment, s'han proposat un seguit d'accions a emprendre per a la màxima realització del potencial.

Resumen

Mediante la digestión anaerobia se descompone la materia orgánica y se genera un gas rico en metano: el biogás. Este proceso es uno de los más adecuados tanto para la gestión y el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos como para la conservación o mejora de los productos tratados. Además, el tratamiento de residuos realizado con esta tecnología contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEH).

A partir del estudio de la naturaleza, el tratamiento y la cantidad de residuos generados en Gambia se ha estimado el potencial energético que se podría alcanzar digiriendolos anaerobiamente.

Por otra parte, se ha calulado el metano que se libera a la atmósfera para justificar la necesidad de cambio y mejora en la gestión de residuos. Siguiendo la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) se ha calculado que en Gambia se liberan a la atmósfera unos 59 Gg CH_4 / año.

Del estudio realizado en el presente trabajo ha resultado que el potencial energético disponible a partir de residuos orgánicos es de 39.309 TEP/ año. Teniendo en cuenta que no toda esta materia es susceptible de ser tratada o transportada, el potencial energético obtenido de los residuos más accesibles ha sido de 19.988 TEP/ año. Las regiones con más potencial energético accesible son Central River y North Bank, principalmente por la generación de residuos biodegradables de la agricultura.

Dado que en Gambia no se aplica un tratamiento adecuado ni a las aguas residuales ni a los residuos de los vertederos, se ha incluido en la evaluación el cálculo del potencial energético basado en tres hipótesis:

1. Recuperación del 50% del metano liberado por los vertederos mediante un reactor UASB.
2. Recuperación del 50% de metano liberado por las aguas residuales tratandolas con un reactor UASB.
3. Tratamiento aerobio simple aplicado a las aguas residuales.

En cuanto a las hipótesis 1 y 2 ha resultado que el potencial accesible aumentaría un 27,55% y disminuirían las emisiones a la atmósfera 4,29 Gg CH_4/año equivalentes a 106.913,9 t CO_2eq/año: se liberaria un 8,63% menos de metano. En relación a la hipótesis 3, las emisiones de metano procedentes de las aguas residuales disminuirían un 100% si se trataran en una planta de tratamiento aerobio bien gestionada.

Por último se han propuesto una serie de acciones a emprender para la máxima realización del potencial.

Abstract

Organic matter can be decomposed through anaerobic digestion and generate a gas rich in methane: biogas. This process is one of the most suitable for the management and use of organic waste and energy conservation or the improvement of the treated products. It also contributes to the reduction of emissions of greenhouse gases (GEI).

From the study of the nature, the treatment and the amount of waste generated in Gambia, the potential energy that could be achieved by anaerobic digesting has been estimated.

Moreover, in order to justify the need for change and improvement in waste management, it has been calculated the amount of methane released into the atmosphere. Following the methodology proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) it has been calculated that in Gambia about 59 Gg CH_4 / year are released into the atmosphere.

From the study of this work, it has resulted that the potential energy available from organic waste is 39.309 TEP/ year. Given that not all of this material is susceptible to be treated or transported, the potential energy obtained from more accessible waste has been 19.988 TEP/ year. The regions with the most accessible potential energy are Central River and North Bank, mainly for the generation of biodegradable waste from agriculture.

Given that Gambia does not apply the appropriate treatment on sewage or waste dumps, it has been included in the calculation the potential energy based on several hypothesis:

1. Recovery of 50% of the methane released from landfills by a UASB reactor.
2. Recovery of 50% of methane released from wastewater by a UASB reactor.
3. Simple aerobic treatment applied to wastewater.

Regarding hypothesis 1 and 2 the accessible potential would increase a 27.55% and emissions to the atmosphere could be reduced 4,29 Gg CH_4/year, equivalent to 106.913,9 t CO_2eq/year: about 8,63% less methane would be released. Referring to the third hypothesis, methane emissions from wastewater could decrease by 100% if they were treated by a well managed aerobic treatment plant.

Finally, a series of actions have been proposed in order to maximize the realization of the potential.

Sumari

Índex de figures 8
Índex de taules 9
Símbols i acrònims 10
Agraïments 11
Prefaci 12
1. Introducció i objectius 13
1.1.Objectius 14
2. Tractaments biològics 15
2.1 Producció de biogàs per digestió anaeròbia 15
2.1.1 Fases i dinàmica del procés 16
2.1.2 Avantatges i inconvenients 18
2.1.3 Aprofitament del biogàs 20
2.1.4 Digestió anaeròbia aplicada al tractament d'aigües residuals a països tropicals 20
2.2 Digestió aeròbia 22
2.2.1 Dinàmica del procés 22
2.2.2 Sistemes aerobis de baix consum: filtres percoladors 23
2.2.3 Avantatges i inconvenients 25
3. Gàmbia 26
3.1 Geografia 27
3.2 Demografia 29
3.3 Economia 29
3.4 Situació actual 31
3.4.1 Energia 32
3.4.2 Gestió del medi ambient 33
3.4.3. Producció 37
4. Metodologia 39
4.1 Bibliografia base 39
4.1.1 Residus de la indústria agroalimentària 39
4.1.2 Fracció orgánica dels residus municipals 40
4.1.3 Aigües residuals 40
4.1.4 Energia 41
4.2 Estimació de les emissions de metà a l'atmosfera 41
4.2.1 Agricultura i ramaderia 41
4.2.2 Canvis en l'ús de la terra i silvicultura 45
4.2.3 Energia 46
4.2.4 Residus 47
4.1.5 Valoració global de les emissions i recuperacions de metà 51
4.3 Estimació del potencial energètic dels residus per digestió anaeròbia 52
4.3.1 Classificació dels residus 52
4.3.2 Indústria agroalimentària 52
4.3.3 Fracció orgànica dels residus sòlids municipals (FORM) 55

5. Producció i residus generats....57
5.1 Indústria agroalimentària....57
5.1.1 Residus animals....57
5.1.2 Residus vegetals....58
5.1.3 Residus làctics....59
5.1.4 Residus de fleca i pastisseria....59
5.2 Fracció orgánica dels residus municipals....59
5.3 Aigües residuals....60
6. Emissions actuals de metà a l'atmosfera....62
6.1 Valoració global....62
6.2 Agricultura i ramaderia....62
6.3 Canvis en l'ús de la terra i silvicultura....63
6.4 Energia....63
6.5 Residus....64
7. Potencial de producció de biogàs....66
7.1 Valoració global....66
7.2 Indústria agroalimentària....68
7.2.1 Residus animals....69
7.2.2 Residus vegetals....70
7.2.3 Residus làctics....72
7.2.4 Residus de fleca i pastisseria....72
7.3 Fracció orgànica dels residus municipals....73
7.4 Aigües residuals....75
7.5 Implicacions energètiques i ambientals....75
8. Recomanacions d'accions a emprendre....76
8.1 Accions genèriques....76
8.1.1 Agricultura i ramaderia....76
8.1.2 Pesca....76
8.1.3 Sector forestal i zones humides....77
8.1.4 Sector energètic....77
8.1.5 Gestió de residus....77
8.1.6 Recursos hídrics....77
8.1.7 Temes transversals....77
8.2 Accions a emprendre per a la màxima realització del potencial....78
8.2.1 Residus sòlids i aigües residuals urbanes....78
8.2.2 Sector energètic....79
8.2.3 Agricultura i ramaderia....79
8. Conclusions....81
9. Bibliografia....83

Índex de figures

Figura 2.1 Fases de la digestió anaeròbia i equilibris químics més rellevants. 17
Figura 2.2 Esquema d'una installació tipus de digestió anaeròbia amb aprofitament de biogàs en un motor de cogeneració, generant electricitat i calor. 19
Figura 2.3 Esquema d'un reactor UASB. 22
Figura 2.4 Esquema d'un filtre percolador. 25
Figura 3.1 Localització de Gàmbia. 26
Figura 3.2 Regions i districtes de Gàmbia. 28
Figura 3.3 Ús de la terra. 28
Figura 3.4 Població i creixement.. 29
Figura 3.5 Població rural i urbana a Gàmbia 30
Figura 3.6 Localització dels abocadors. 34
Figura 3.7 Bestiar a l' abocador Bakoteh. 35
Figura 3.8 Recollida de residus al mercat de Banjul. 36
Figura 3.9 Usos de l'aigua a Gàmbia. 36
Figura 3.10 Pescador al riu Gàmbia.. 38
Figura 7.1 Potencial energètic total disponible per zones (TEP/any). 67
Figura 7.2 Potencial energètic total accessible per zones (TEP/any). 67
Figura 8.1 Sistema simple de reg per evaporació d'aigua salada. 76
Figura 8.2 Galliner instal·lat a Jirong. 80

Índex de taules

Taula 3.1 Característiques generals. 27
Taula 3.2 Densitat de població al 2003 i 2013 per àrees de govern local. 30
Taula 3.3 Indicadors socials bàsics. 30
Taula 3.4 Indicadors econòmics bàsics.. 32
Taula 3.5 Generació d'electricitat instal·lada a les províncies, 2010. 33
Taula 4.1 Factors d'emissió de metà procedents de la fermentació entèrica del bestiar 42
Taula 4.2 Potencial màxim de producció de metà dels fems, Sòlids volàtils excretats diàriament 42
Taula 4.3 Sistemes de gestió de fems a Gàmbia, Fracció de bestiar i factor de conversió de metà per a cada sistema de gestió de fems, per regió climàtica 43
Taula 4.4 Factors d'escala per a les emissions de metà per als ecosistemes arrossers en relació als camps inundats permanentment. 44
Taula 4.5 Factors d'emissió (kg CH_4/TJ). 46
Taula 4.6 Valors per defecte del carboni orgànic degradable als principals tipus de residus. 47
Taula 4.7 Valors del grau d'utilització i dels factors de conversió de metà per a cada tractament 49
Taula 4.8 Valors estimats de DBO5 a les aigües residuals domèstiques. 49
Taula 4.9 Demanda química d'oxigen i aigues residuals generades per als sectors industrials més rellevants a Gàmbia 50
Taula 4.10 Classificació dels residus de la indústria agroalimentària 53
Taula 4.11 Dades per al càlcul del potencial de generació de metà dels residus agrícoles 54
Taula 4.12 Dades empleades per al càlcul del potencial de residus de la indústria alimentària 54
Taula 5.1 Nombre d'animals i residus carnis que generen per zones.. 57
Taula 5.2 Producció de vegetals per zones (t/any) 58
Taula 5.3 Producció de llet i residus generats. 59
Taula 5.4 Dades de producció de fleca i pastisseria 59
Taula 5.5 Composició de residus dels abocadors 60
Taula 5.6 Aigües residuals domèstiques/comercials. 60
Taula 5.7 Aigües residuals industrials. 61
Taula 6.1 Emissions totals de metà a l'atmosfera. 62
Taula 6.2 Emissions de metà a l'atmosfera, agricultura i ramaderia 63
Taula 6.3 Emissions de metà a l'atmosfera, canvis en l'ús de la terra i silvicultura 63
Taula 6.4 Emissions de metà a l'atmosfera, energia. 64
Taula 6.5 Emissions de metà a l'atmosfera, residus, abocadors 64
Taula 6.6 Emissions de metà a l'atmosfera, residus, aigües residuals 65
Taula 7.1 Potencial energètic total disponible per zones 66
Taula 7.2 Potencial energètic total accessible per zones. 68
Taula 7.3 Potencials energètics dels diferents tipus de residus de la indústria alimentària. 68
Taula 7.4 Potencial energètic disponible per regions, indústria agroalimentària, residus animals. 69
Taula 7.5 Potencial energètic accessible per regions, indústria agroalimentària, residus animals. 70
Taula 7.6 Potencial energètic disponible per regions, indústria agroalimentària, residus vegetals 71
Taula 7.7 Potencial energètic accessible per regions, indústria agroalimentària, residus vegetals 71
Taula 7.8 Potencial energètic disponible per regions, indústria agroalimentària, residus làctics 72
Taula 7.9 Potencial energètic disponible per regions, indústria agroalimentària, residus de fleca i pastisseria . . 72
Taula 7.10 Potencial energètic accessible per regions, indústria agroalimentària, residus de fleca i pastisseria . 73
Taula 7.11 Potencial energètic disponible, FORM. 74
Taula 7.12 Potencial energètic accessible, Hipòtesi 1: recuperació del 50% del metà generat, FORM 74
Taula 7.13 Potencial energètic, Hipòtesi 2: recuperació del 50% del metà generat, Aigües residuals 75

Símbols i acrònims

AGV: Àcids Grassos Volàtils
COD: Component Orgànic Degradable
DBO: Demanda Bioquímica d'Oxigen
DQO: Demanda Química d'Oxigen
FORM: Fracció Orgànica de Residus Municipals
GEH: Gasos d'Efecte Hivernacle
GINI: Coeficient que indica la desigualtat d'ingressos d'un país
GNAIP: Gambia National Agricultural Investment Plan
IDH: Índex de Desenvolupament Humà
IPCC: Panell Intergovernamental del Canvi Climàtic
MFC: Factor de conversió a metà
NAWEC: National Water and Electricity Company
PCI: Poder Calorífic Inferior
RSU: Residus Sòlids Urbans
SV: Sòlids Volàtils
TEP: Tones Equivalents de Petroli
UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket

Agraïments

M'agradaria donar les gràcies al meu tutor, Xavier Flotats, per tota l'ajuda que m'ha brindat i per respondre'm els correus electrònics fins i tot durant l'estiu.

Al meu pare, pel recolzament, pel disseny gràfic i la maquetació.

Als meus amics i al Rafel, per la paciència i les estones de desconnexió i per fer que tot el temps que he dedicat a fer aquest treball sigui millor.

Al Baba, a la Mini i al Kalilu, de la Fundació Kalilu Jammeh, per ensenyar-me Gàmbia, la seva cultura i el "domandin domandin", que m'ha sigut molt útil durant aquests mesos (en català vol dir mica en mica i representa la seva filosofia de vida) i la a meva mare Iolanda i la meva germana Marina, per compartir amb mi aquest viatge i fer-ne una gran experiència.

Als companys i amics de l'ESAB, per tots els moments que hem compartit durant aquests quatre anys de carrera i per fer de la meva estada a la universitat un temps inoblidable.

I finalment, a tota meva família, en especial a la Iolanda a la Marina a la Joana i al Rafel, per tots els consells, pel suport incondicional i perquè amb ells al costat tot ha estat més fàcil.

Prefaci

Mitjançant la digestió anaeròbia es pot tractar una gran diversitat de materials residuals. La composició dels quals varia segons els residus produïts a cada indret. Els fems, els residus orgànics municipals, els fangs o els residus d'indústries agroalimentàries en són alguns exemples.

El motiu pel qual l'estudi es basa en residus i subproductes orgànics biodegradables és que de la digestió anaeròbia d'aquests es pot obtenir biogàs. El biogàs és un vector energètic que permet contribuir de manera sensible a l'aportació de les energies renovables en el balanç energètic d'un país.

Es vol fer l'avaluació a Gàmbia perquè és un país on el tractament de residus i les emissions de CO_2 i altres gasos d'efecte hivernacle són temes pendents. A més, s'ha tingut la oportunitat de visitar el país, veure com hi treballa la Fundació Kalilu Jammeh i observar de primera mà la situació en que es troba i la necessitat general de millorar en temes de tractament de residus i medi ambient; a partir d'aquí va sorgir la idea de situar el treball a Gàmbia.

1. Introducció i objectius

La importància d'inventariar els residus i el seu potencial energètic rau en que l'inventari és una eina indispensable per a la planificació del país i per poder marcar objectius ambientals. En aquest treball es pretén col·laborar en la realització d'aquest inventari a Gàmbia.

Es vol fer l'avaluació energètica a Gàmbia perquè és un país on el tractament de residus i les emissions de CO_2 i altres GEH són temes pendents, l'ús d'energies renovables queda molt allunyat de la situació energètica que viu Gàmbia actualment. Durant les últimes dècades el creixement de la població i l'augment de les zones urbanitzades afavoreixen la producció de quantitats cada cop més grans de residus orgànics que comporten greus problemes ambientals. La gestió del medi ambient i en concret dels residus sòlids i de les aigües residuals s'està convertint en un dels principals problemes de la salut pública i ambiental. Aquest fet comporta la necessitat d'aplicar noves tecnologies per al tractament i la valorització de residus.

Una de les tècniques aplicable és la digestió anaeròbia per generar energia: procés biològic a través del qual part de la matèria orgànica continguda en un substrat (en aquest cas residus orgànics) es degrada, se n'obté un residu orgànic més estable i un gas combustible (biogàs). La degradació de la matèria orgànica continguda als residus es produeix gràcies a l'acció d'un conjunt de microorganismes que actuen en absència d'oxigen. El biogàs obtingut és una mescla de gasos formada fonamentalment per metà i diòxid de carboni.

Els càlculs s'han realitzat per a les cinc regions que conformen el país -que equivaldrien a províncies- i diferenciant el potencial energètic disponible de l'accessible (obtingut dels residus susceptibles de ser tractats o transportats). A Europa es produeixen més de 10 milions de tones equivalents de petroli en forma de biogàs, mentre que a Gàmbia no hi ha referències d'aquest aprofitament. Actualment al país no es fa ús d'energies renovables, l'electricitat es produeix mitjançant benzina i dièsel, que s'importen suposant un gran cost per a l'economia, fet que comporta que el país sigui vulnerable als canvis en els preus del petroli. El consum total d'energia és de 150.000 TEP/any. A les regions estudiades no compten amb lleis relacionades amb el tractament de residus, les infraestructures són pobres, els recursos inadequats i hi ha una manca de finançament.

S'han calculat les emissions de metà que s'alliberen a l'atmosfera perquè Gàmbia no compta amb cap estudi previ, per justificar la necessitat d'un canvi en la gestió i el tractament actual dels residus i perquè el tractament anaerobi està vinculat amb la recuperació de metà. El gas metà és un contaminant atmosfèric que contribueix a agreujar l'efecte hivernacle a la Terra, principal agent de l'escalfament global. El CH_4 es desprén de zones pantanoses, d'arrossars, d'abocadors, d'excrements de bestiar o humans, etc.

Tot i que Gàmbia es troba en una situació d'extrema pobresa, és possible realitzar-hi accions que permetin reduir l'impacte dels residus sobre el medi i la salut humana. Els projectes de les organitzacions *Ciudad saludable* i *Tecnologías en Desarrollo* (TED) poden ser adoptats com a model en aquest aspecte. *Ciudad Saludable* ha dut a terme un projecte de creació de microempreses a Perú (gestionades per habitants de les zones properes als abocadors) dedicades a la recollida i tractament de residus urbans. Per altra banda, TED ha concebut un sistema de digestió anaeròbica que extreu gas dels fems i de les dejeccions humanes i es connecta de manera senzilla fins a la cuina mitjançant canonades, tecnologia aplicada amb èxit a Bolívia.

1.1.Objectius

L'objectiu global del projecte és avaluar el potencial energètic dels residus orgànics i subproductes biodegradables que puguin produir energia a Gàmbia mitjançant digestió anaeròbia. Així mateix, avaluar si l'aprofitament energètic del biogàs pot ser, a Gàmbia, una tecnologia preparada per començar a penetrar en el mercat i quins efectes tindria en el balanç global d'emissions de metà.

Els residus susceptibles de ser tractats mitjançant digestió anaeròbia seran identificats i quantificats amb la finalitat de fer una estimació del potencial de producció de biogàs pels residus orgànics inventariats, classificat per sectors d'activitat i per àrees geogràfiques i identificar la gestió que se'n fa actualment.

Així mateix, valorar quina influència tindria en el balanç energètic i d'emissions del país tractar els residus d'abocadors i les aigües residuals mitjançant o digestió aeròbia o anaeròbia.

Finalment es proposaran accions a emprendre per a la màxima realització del potencial i s'identificaran les regions on les accions puguin ser més efectives i tenir majors efectes multiplicadors.

2. Tractaments biològics

A continuació s'explica el funcionament dels dos processos que poden ser útils per al tractament de residus sòlids i d'aigües residuals a Gàmbia: la digestió anaeròbia i l'aeròbia. El tractament biològic aerobi consisteix en la descomposició de la matèria orgànica per microorganismes aerobis (presència d'oxigen).
Els sistemes aerobis requereixen l'aportació d'oxigen mitjançant aeració contínua, fet que s'associa a un alt cost energètic i també a una demanda d'extensió de terreny.

El tractament biològic anaerobi té la particularitat de funcionar en absència d'oxigen. Aquest tractament consisteix en una sèrie de reaccions bioquímiques que transformen la matèria orgànica contaminant en biogàs (diòxid de carboni i metà) i biomassa microbiana.

2.1 Producció de biogàs per digestió anaeròbia

Mitjançant el procés de digestió anaeròbia es poden tractar un gran nombre de residus orgànics (pot aplicar-se a dejeccions ramaderes, a la fracció orgànica de residus municipals, als llots de depuradores i als residus orgànics industrials) i és un dels processos més adequats per a la gestió, per a l'aprofitament energètic i per a la conservació i/o millora del valor fertilitzant d'aquests residus.

La digestió anaeròbia és un procés biològic a través del qual part de la matèria orgànica continguda en un substrat es degrada, se n'obté un producte orgànic més estable i un gas combustible (biogàs). La degradació de la matèria orgànica es produeix gràcies a l'acció d'un conjunt de microorganismes que treballen en condicions anaeròbiques (absència d'oxigen).

Tradicionalment, la digestió anaeròbia s'ha aplicat a l'estabilització dels llots d'aigües residuals domèstiques extrets típicament dels tancs de sedimentació primaris (McCarty, 1964). Malgrat això, l'ús de la digestió anaeròbia per a la producció de biogàs ha crescut en els últims temps degut a la seva viabilitat com a font de combustible renovable (Mussgnug et al, 2010).

El procés controlat de digestió anaeròbia és un dels més idonis per a la reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) procedents del sector agrari i per a la gestió de residus orgànics (aprofitament energètic d'aquests residus i manteniment i/o millora del valor fertilitzant dels productes tractats).

El biogàs obtingut de la digestió anaeròbia és una mescla de gasos formada fonamentalment per metà (60-70% en volum) i diòxid de carboni (30-40% en volum), de manera minoritària conté altres components: àcid sulfhídric, hidrogen, amoníac, nitrogen, monòxid de carboni i oxigen. El seu PCI és de l'orde de 23.023 kJ/m^3. L'energia que es pot obtenir a partir de 10 m^3 de biogàs equival a l'obtinguda amb 6-7 m^3 de gas natural. Aquest és un dels principals motius pel qual la digestió anaeròbia resulta interessant en comparació amb altres formes de tractament de residus orgànics (Flotats i Sarquella, 2008).

La mescla de gasos obtinguda es pot aprofitar per generar energia tèrmica (cremant-ho, per exemple, en una caldera de calefacció) o energia tèrmica i elèctrica (mitjançant la tecnologia de cogeneració) (Flotats i Sarquella, 2008) (Figura 2.2).

Un altre punt d'interès d'aquesta tecnologia rau en la revalorització del residu en termes d'estabilització de la matèria orgànica. El material resultant es pot reutilitzar i aplicar al sòl com a fertilitzant, sobretot després d'una etapa de maduració.

2.1.1 Fases i dinàmica del procés

La digestió anaeròbia està caracteritzada per l'existència de diverses fases diferenciades en el procés de descomposició del material que es digereix (anomenat substrat). Hi intervenen cinc poblacions de microorganismes (bacteris hidrolítics-acidogènics, bacteris acetogènics, bacteris homoacetogènics, bacteris metanogènics hidrogenòfils i bacteris metanogènics acetoclàstics) que tenen diferents velocitats de creixement i diferent sensibilitat a cada compost intermedi com a inhibidor (per exemple l'H_2, l'àcid acètic o l'amoníac produït en l'acidogènesi d'aminoàcids). La composició qualitativa de la població bacteriana i les velocitats de reacció de cada etapa estan condicionades per la natura i per la composició química del substrat, de manera que s'estableix un equilibri fràgil o estable segons la composició i operació del sistema. És a dir, el desenvolupament estable del procés global requereix d'un equilibri que eviti l'acumulació de compostos intermedis inhibidors o l'acumulació d'àcids grassos volàtils (AGV) que podria causar una baixada del pH. Per a fer possibles algunes reaccions és necessària l'associació sintròfica entre bacteris acetogènics i metanogènics. Així doncs, el procés està format per diferents etapes (Figura 2.1), que inclouen:

Desintegració i hidròlisi

És l'etapa inicial en la qual els enzims hidrolítics transformen els components biodegradables del substrat en molècules simples. Els carbohidrats es descomponen en monosacàrids, els lípids en glicerol i àcids grassos de cadena llarga i les proteïnes en aminoàcids.

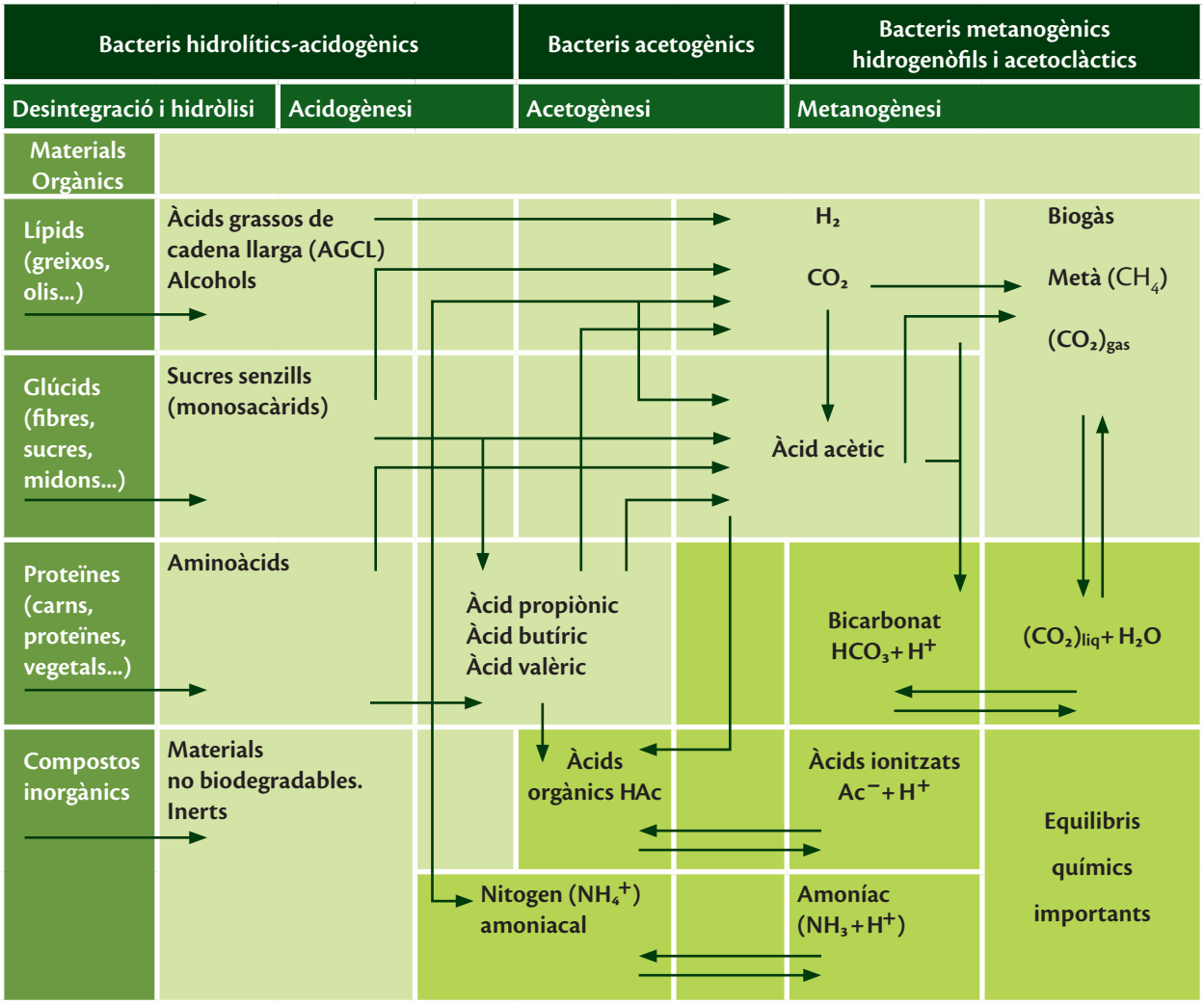
Acidogènesi

En aquesta segona etapa, els productes de la hidròlisi fermenten a àcids grassos volàtils (acètic, propiònic i butíric), alcohols i gasos com CO_2, H_2, i NH_3.

La major part de la matèria orgànica és transformada directament a substrats metanogènics pels bacteris fermentatius; la resta, aproximadament un 30%, es transforma en altres àcids grassos volàtils i alcohols. Aquest percentatge pot augmentar si el procés està desequilibrat.

La majoria dels bacteris que participen en aquesta etapa són anaerobis facultatius i tenen una velocitat de creixement relativament alta.

Figura 2.1 Fases de la digestió anaeròbia i equilibris químics més rellevants.



Font: Flotats i Sarquella (2008)

Acetogènesi

A partir dels àcids grassos volàtils formats en l'etapa anterior, els bacteris acetogènics productors d'hidrogen produeixen també àcid acètic i diòxid de carboni. A la vegada, els bacteris metanogènics consumidors d'hidrògen el metabolitzen. Els bacteris homoacetogènics produeixen àcid acètic a partir d'hidrògen i diòxid de carboni.

Metanogènesi

A partir de dos productes de les reaccions prèvies com són l'acetat (metanogènesi acetoclàstica) i l'H_2 (metanogènesi hidrogenòfila), es realitza la producció final de metà. Els microorganismes que catalitzen la metanogènesi acetoclàstica són majoritàriament dels gèneres *Methanosarcina* i *Methanosaeta;* aquesta via és la més important de formació de metà.

Els microorganismes implicats en aquesta etapa són anaerobis estrictes i presenten taxes de creixement de l'ordre de 5 vegades menors als acidogènics.

En les reaccions que tenen lloc s'alliberen compostos i energia que utilitzen els microorganismes per a créixer. És a dir, els propis microorganismes fan possibles aquestes reaccions que utilitzen per al seu benefici (alimentació i creixement). Els microorganismes anaerobis tenen una velocitat de creixement lenta i utilitzen una petita part de l'energia que tenen a l'abast, donant lloc a una baixa producció de fang en comparació als aerobis. Alhora, en utilitzar poca energia, aquesta resta en els subproductes del procés, bàsicament en forma de metà.

Com ja s'ha mencionat, mentre en les fases d'hidròlisi i acidogènesi els microorganismes acostumen a ser facultatius, per la fase metanogènica els microorganismes són anaerobis estrictes i amb taxes de creixement de l'ordre de cinc vegades menors que els acidogènics. Això significa que si els bacteris metanogènics tenen algun problema per reproduir-se i consumir els àcids per efecte d'algun inhibidor o bé per manca de prou temps de procés, es produirà una acumulació d'àcids, una baixada del pH i el procés s'aturarà (Campos et al., 2012).

Per a l'estabilitat del pH és important l'equilibri CO_2–bicarbonat. Per assegurar un procés estable cal que el medi tingui prou alcalinitat. Atès que en el procés de digestió anaeròbia es va produint CO_2, es manté un equilibri entre el que queda dissolt i el que va marxant amb el biogàs. En una situació de sobrecàrrega (amb producció de més àcids dels que poden consumir els microorganismes) l'equilibri es trenca i es comença a produir més CO_2 al biogàs, baixant la concentració de bicarbonat i alhora el pH.

Per tant, en general la velocitat del procés està limitada per la velocitat de l'etapa més lenta, la qual depèn de la composició de cada residu. Per a substrats solubles, la fase limitant sol ser la metanogènesi, i per augmentar la velocitat l'estratègia consisteix en adoptar dissenys que permetin una elevada concentració de microorganismes acetogènics i metanogènics al reactor.

Per a residus en els que la matèria orgànica es presenti en forma de partícules, la fase limitant és la hidròlisi, procés enzimàtic la velocitat del qual depèn de la superfície de les partícules. Per augmentar la velocitat, una de les estratègies és el pretractament per disminuir la mida de les partícules o ajudar a la solubilització (per exemple: maceració, ultrasons, tractament tèrmic, alta pressió, o combinació d'altes pressions i temperatures).

2.1.2 Avantatges i inconvenients

Aquest procés de tractament de residus orgànics i de producció d'energia té beneficis mediambientals i ofereix significatius avantatges en comparació a d'altres processos de tractament de residus, incloent-hi (Flotats i Sarquella, 2008):

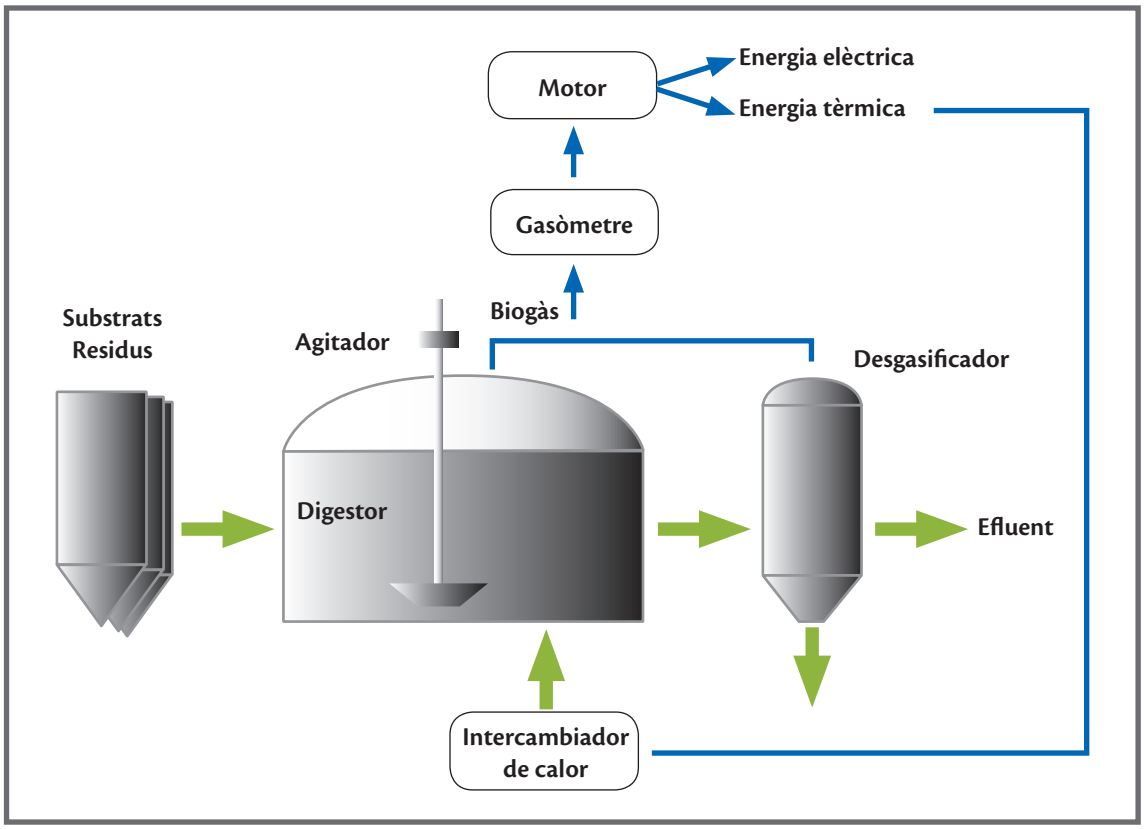
- Producció d'energia renovable (biogàs).
- Possibilitat de gestió individual o centralitzada de residus orgànics.
- Menor producció de fangs en comparació amb tecnologies aeròbies.
- Eficient per al tractament d'aigües residuals amb alt contingut orgànic.
- Eficaç en el tractament de residus humits de menys de 40% de matèria seca.
- Possibilitat de reciclar nutrients i reducció del volum de residu.
- Obtenció d'un material orgànic més estable que es pot aplicar al sòl com a fertilitzant millorat (digestat).
- Proporciona una higienització parcial mitjançant l'eliminació de part dels patògens.

- Mínima emissió d'olors.
- Alt grau de compliment de moltes estratègies nacionals implementades per a reduir la quantitat de residus biodegradables que entren als abocadors.
- Redueix les emissions incontrolades de gasos d'efecte d'hivernacle.
- Facilita possibles tractaments posteriors, per exemple assecatge tèrmic o *stripping* d'amoníac.

No obstant això, problemes com ara un baix rendiment de producció de metà i la inestabilitat del procés es troben sovint en la digestió anaeròbia (Juma i Singarvelu, 2014). A continuació es recullen els principals inconvenients de la digestió anaeròbia (Flotats i Sarquella, 2008):

- Elevats costos d'inversió segons el sistema (volum, control de temperatura, etc.).
- Costos d'operació o manteniment elevats en funció del sistema (tipus d'operació, gestió d'afluents, etc.).
- Relació inversa entre la despesa energètica (calefacció, agitació) i el temps de tractament (volum necessari).
- El funcionament normal del procés es pot destorbar per la presència de compostos tòxics o inhibidors (amoníac, antibiòtics, desinfectants, metalls pesants, sulfurs, etc.).
- No s'elimina nitrogen ni altres nutrients, inconvenient que és alhora una avantatge en el marc del reciclatge de nutrients.

Figura 2.2 Esquema d'una instal·lació tipus de digestió anaeròbia amb aprofitament de biogàs en un motor de cogeneració, generant electricitat i calor.



Font: Flotats i Sarquella (2008)

2.1.3 Aprofitament del biogàs

El biogàs generat per digestió anaeròbia es pot aprofitar de diverses maneres amb l'objectiu de generar:

1. Energia tèrmica (calor).
2. Energia tèrmica i elèctrica mitjançant la tecnologia de cogeneració.

La primera opció és més senzilla i econòmica, i consisteix en cremar el gas directament, per exemple en una caldera de calefacció o en uns fogons de cuina, en funció de les necessitats o requisits de cada indret. Aquesta opció seria la més viable a Gàmbia.

Tot i això, si es produeix biogàs en prou quantitat, es pot cremar en turbines o en motors de cogeneració que permeten produir electricitat i obtenir, alhora, aigua calenta. Aquesta aigua es pot utilitzar per a cobrir necessitats de calefacció de la instal·lació, tant del propi digestor com de les naus de producció, etc. I l'electricitat, tant es pot fer servir per al consum propi com per vendre-la a la xarxa, podent esdevenir una font externa addicional d'ingressos si s'instal·la en alguns pobles. Si l'objectiu principal és produir electricitat, és convenient realitzar la digestió anaeròbia en condicions òptimes per maximitzar la producció de biogàs ja que la cogeneració només és rendible quan les produccions són prou elevades (Flotats i Sarquella, 2008).

El principal avantatge d'aplicar la tecnologia del biogàs a Gàmbia és que es pot adequar amb pocs o cap component importat. Les aplicacions més interessants serien per cuinar i en indústries com la de la cervesa.

2.1.4 Digestió anaeròbia aplicada al tractament d'aigües residuals a països tropicals

Les societats humanes produeixen residus que poden representar una matèria primera útil per a la producció d'energia, com és el cas de les aigües residuals. Per al tractament d'aquestes aigües es poden utilitzar combinacions de diferents mètodes físics, químics i biològics. Els tractaments biològics poden ser aerobis i anaerobis i constitueixen la majoria de les plantes de tractament d'aigües residuals.

Als reactors UASB, en anglès Upflow Anaerobic Sludge Blanket, hi tenen lloc processos de depuració anaeròbia: es transformen les substàncies contaminants en metà, amoníac, diòxid de carboni, aigua i sulfur d'hidrogen. En el procés s'obté, per una banda, un gas que es pot utilitzar com a font de calor a les ciutats, combustió en calderes de vapor per a calefacció i combustible de motors acoblats a generadors elèctrics. D'altra banda, la massa restant degradada pels bacteris pot ser aplicada com a adob per a la fertilització de sòls. L'aigua contaminada tractada inicialment pot ser abocada llavors a qualsevol curs receptor (si compleix amb les normes d'abocament), per la qual cosa aquest procés pot ser usat per a depurar o contribuir a regenerar una zona mediambiental danyada, procés anomenat bioremediació.

Els processos anaerobis generen energia en forma de biogàs i produeixen llots en quantitats significativament menors que les produïdes per sistemes aerobis (Lettinga, 1983). Dins els processos anaerobis aplicats al tractament d'aigües residuals el reactor UASB ha demostrat ser una tecnologia complementària i competitiva per a climes amb temperatures superiors als 20ºC.

Les zones tropicals tenen avantatges en relació als països del nord per a aconseguir una depuració de baix cost de les aigües residuals i el seu aprofitament, per exemple, agrícola. Aquests avantatges són (Cavalcanti, 2003):

- Temperatures altes i estables tot l'any, el tractament anaerobi de les aigües residuals és més eficient a les zones tropicals ja que el procés es veu afavorit per les temperatures més càlides.
- Dotze mesos de creixement vegetal a l'any, és a dir, una demanda relativament constant de matèria orgànica i de nutrients, fet que evita sobrecostos d'emmagatzematge.
- Alt requeriment de matèria orgànica per al sòl, ja que la temperatura i la humitat acceleren la mineralització, generant un bon preu de mercat.
- Alta demanda d'aigua de reg, per les estacions seques i les altes temperatures.

Des del segle passat el tractament d'efluents és de vital importància per evitar la contaminació ambiental, pel que sorgeix la necessitat de desenvolupar processos que combinin una alta eficiència de tractament amb baixos costos de construcció i manteniment. El reactor UASB té com a principal característica, a més del flux ascendent, la formació d'una capa de fang floculant o granular amb bona capacitat de sedimentació, on es realitza l'activitat biològica. Aquests reactors, per a les aigües domèstiques, operen amb càrregues orgàniques entre 1 i 2 kg DQO/m^3 dia, amb eficiències de remoció fins 85%, a temperatura ambient (Wiegant, 2001).

Al digestor UASB hi ha 3 zones ben definides (Foresti, 2002):

- **Zona d'entrada:** on l'efluent a tractar és uniformement distribuït a la base del reactor i encaminat a la zona de digestió.
- **Zona de digestió:** l'efluent passa a través d'un llit de bacteris anaerobis on els contaminants són degradats i transformats en gas.
- **Zona de separació trifàsica:** està localitzada a la part superior del reactor, on té lloc la separació del gas, del sòlid i del líquid.

En aquest procés, l'aigua residual que es vol tractar s'introdueix per la part inferior del reactor. L'aigua residual flueix en sentit ascendent a través d'una capa de fangs constituïda per grànuls o partícules formades biològicament. El tractament es produeix en entrar en contacte l'aigua residual i el fang microbiològic.

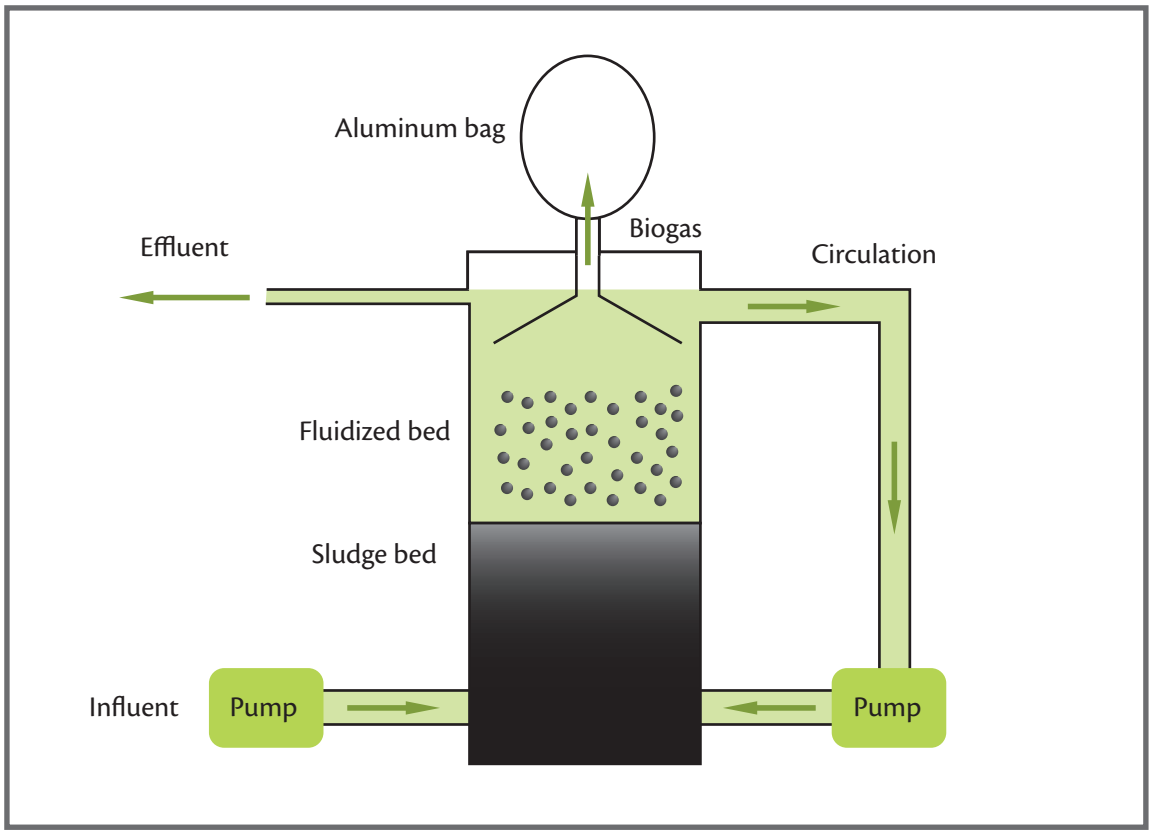
Els gasos produïts en condicions anaeròbiques (principalment metà i diòxid de carboni) provoquen una circulació interior, que col·labora en la formació i manteniment dels grànuls. Part del gas generat a la capa de fangs s'adhereix a les partícules biològiques.

Tant el gas lliure com les partícules a les que s'ha adherit gas ascendeixen cap la part superior del reactor. En aquesta zona es produeix l'alliberament del gas adherit a les partícules, en entrar aquestes en contacte amb uns deflectors desgasificadors. Les partícules desgasificades solen tornar a caure fins a la superfície del mantell de fang.

El gas lliure i el gas alliberat de les partícules es captura en una volta de recollida de gasos, instal·lada a la part superior del reactor (Figura 2.3). El líquid, que conté alguns sòlids residuals i alguns dels grànuls biològics, es condueix a una càmera de sedimentació, on se separen els sòlids residuals. Els sòlids separats es condueixen a la superfície de la capa de fang a través del sistema de deflectors. Per mantenir la capa de fang en suspensió, és necessari que la velocitat de flux ascendent tingui un valor entre 0,6 i 0,9 m/h (Wiegant, 2001). La idea bàsica d'aquest procés és que el fang anaerobi tingui bones característiques de sedimentació, i condicions físiques i químiques del procés de floculació favorables.

Si s'aconsegueixen aquestes condicions, la retenció del fang -o sigui, dels microorganismes- dependrà principalment d'una separació efectiva del gas produït en el procés (especialment de les bombolles de gas atrapades en el fang). Després de la separació del gas la sedimentació del fang procedeix favorablement. Aquesta tecnologia de depuració anaeròbia es considera adequada per aplicar-la a Gàmbia.

Figura 2.3 Esquema d'un reactor UASB



Font: Wastewater engineering group (2015)

2.2 Digestió aeròbia

La digestió aeròbia és un procés realitzat per diversos grups de microorganismes, principalment bacteris, que en presència d'oxigen actuen sobre la matèria orgànica dissolta transformant-la en productes finals inocus i matèria cel·lular a fi de reduir el volum i obtenir un producte estable.

2.2.1 Dinàmica del procés

Durant la digestió aeròbia, quan l'aportació del substrat disponible s'esgota, els microorganismes comencen a consumir el seu propi protoplasma a fi d'obtenir energia per a les reaccions de manteniment de les cèl·lules. Quan això passa es diu que els microorganismes estan en la fase endògena. Tal i com es mostra a l'equació 2.1, el teixit cel·lular ($C_5H_7NO_2$), és oxidat a diòxid de carboni, aigua i amoníac.

$$C_5H_7NO_2 + 5O_2 \rightarrow 5CO_2 + NH_3 + 2H_2O$$ Equació 2.1

No obstant, cal indicar que només del 75 al 80% del teixit cel·lular pot ser oxidat realment. El 25 o 20% restant el constitueixen compostos orgànics i components inerts que no són biodegradables (Brissaud, 1999). L'amoníac procedent d'aquesta oxidació és seguidament oxidat a nitrat al proseguir la digestió. Els temps de residència són superiors als dels tractaments biològics secundaris (de deu a dotze dies) i s'aconsegueix eliminar entre el 35 i el 45 % de SV (Brissaud, 1999).

La velocitat de destrucció de cèl·lules disminueix quan la relació aliment/microorganisme augmenta. En conseqüència, a major proporció de fangs primaris al procés, més lenta és la digestió, ja que els fangs primaris tenen una DBO relativament alta i pocs sòlids volàtils en suspensió.

2.2.2 Sistemes aerobis de baix consum: filtres percoladors

Els filtres percoladors són sistemes de biomassa fixada, és a dir, els microorganismes estan adherits a un suport inert i formen una biopel·lícula que està en contacte amb l'aigua residual que s'ha de tractar. Mentre l'aigua circula a través del reactor, els microorganismes, retinguts en el suport, degraden els substrats que conté l'aigua, alhora que excreten els productes del seu metabolisme en el si del líquid.

Els microorganismes tenen tendència a adherir-se sobre les superfícies. La biopel·lícula que formen sobre el suport inert està constituïda per microorganismes inserits en una matriu de tipus polimèric, generada pels mateixos microorganismes, que excreten els exopolímers necessaris per a la seva formació. Aquesta complexa estructura és completada per una sèrie de porus distribuïts dins de la biopel·lícula que faciliten el transport dels compostos a l'interior de la pel·lícula.

Perquè es produeixi la degradació biològica, quan els microorganismes estan formant la biopel·lícula és necessari que el substrat i altres nutrients, així com l'oxigen es difonguin a través seu. Mentre es difonen, els microorganismes van metabolitzant aquests compostos. La velocitat d'eliminació del substrat observada depèn alhora de la velocitat de difusió del substrat des de l'aigua residual fins al microorganisme i de la velocitat de biodegradació del substrat. Quan la biopel·lícula és prou gruixuda, el substrat ja no arriba a les capes més internes i els únics microorganismes actius són els que se situen en l'anomenat gruix efectiu, mentre que la resta no contribueixen a la reacció de degradació. Ateses unes condicions estables, el gruix efectiu sempre és el mateix, i per tant la velocitat de degradació per unitat d'àrea de biopel·lícula és constant. L'única manera d'augmentar l'eficiència del sistema, llavors, és afegir-hi àrea de suport.

La biopel·lícula que es forma al voltant del suport és dinàmica, i es distingeixen tres etapes (Ros et al., 2006):

1. Etapa de creixement exponencial: la biopel·lícula és prima i no cobreix tot el suport. Es pot considerar que tots els microorganismes estan més o menys en les mateixes condicions, tots es reprodueixen i s'observa un creixement exponencial.

2. Etapa de creixement constant: s'inicia a partir del moment en què el gruix efectiu (gruix de la biopel·lícula on la biomassa és activa) esdevé més petit que el gruix real de la biopel·lícula, ja que el substrat no arriba a la part interna de la biopel·lícula. El gruix de la pel·lícula va creixent, mentre que el gruix efectiu es manté constant.

3. Etapa de despreniment de la biopel·lícula: el gruix real esdevé prou gran perquè els microorganismes de la zona interna estiguin en fase endògena. Com que el substrat no arriba a aquesta zona, els desequilibris en la cadena alimentària provoquen la pèrdua d'afinitat de la biopel·lícula pel suport, i per acció de les forces que provoca el flux d'aigua i les bombolles d'aire, si n'hi ha, una part de la biopel·lícula es desprèn.

En aquests sistemes de biomassa fixada, els decantadors secundaris són molt més petits que en els sistemes de biomassa en suspensió, ja que només cal separar el fang en excés corresponent al despreniment de la biopel·lícula.

Els tractaments de biomassa fixada en processos aerobis més utilitzats són el filtre percolador i el biodisc.

El filtre percolador, també anomenat biofiltre o filtre biològic, consisteix en un dipòsit (normalment cilíndric) omplert amb un material de gran superfície específica (pedra, putzolana o plàstic) que serveix de suport als microorganismes, els quals formaran una biopel·lícula de gruix variable. L'aireació sol donar-se per convecció natural de l'aire, que circula a través de l'estructura porosa del llit, mentre que l'aigua es distribueix uniformement per la part superior del filtre i percola a través del llit fins que és recollida en la part inferior del tanc (Figura 2.4).

A mesura que l'aigua residual va percolant, s'elimina gran part de la matèria orgànica per acció de la biopel·lícula fixada sobre el material. El substrat i l'oxigen es difonen a través d'aquesta biopel·lícula on es produeix la metabolització. Alhora, els productes i l'anhídrid carbònic es difonen en la direcció oposada cap al sí del líquid. Durant el pas per la biopel·lícula, l'oxigen es consumeix com a conseqüència de la respiració microbiana i queda definida una zona aeròbia. La penetració d'oxigen pot no arribar fins a tota la massa bacteriana i a causa d'això es pot desenvolupar una segona zona, anaeròbia, entre el material de farciment i la zona aeròbia exterior.

Com a conseqüència del creixement bacterià, el gruix de la biopel·lícula va augmentant fins a un cert límit, a partir del qual la biopel·lícula es desprèn i és arrossegada per l'aigua que circula. Per això cal un decantador on s'eliminin els fangs de la biomassa despresa.

El material inert utilitzat com a suport de la biomassa ha de tenir una alta superfície per unitat de volum, baix cost, alta durabilitat i una porositat de llit suficient per minimitzar la colmatació i facilitar la circulació de l'aire a través del llit. Inicialment es van utilitzar pedres com a material de rebliment i actualment el material més utilitzat és el plàstic amb diferents dissenys per donar la màxima superfície específica.

Els filtres percoladors es poden classificar segons la càrrega hidràulica i orgànica aplicable en filtres de càrrega baixa, mitjana o alta (Ros et al., 2006).

2.2.3 Avantatges i inconvenients

A continuació s'enumeren els avantages i els inconvenients d'aquest tractament (Alemany, et al., 2011):

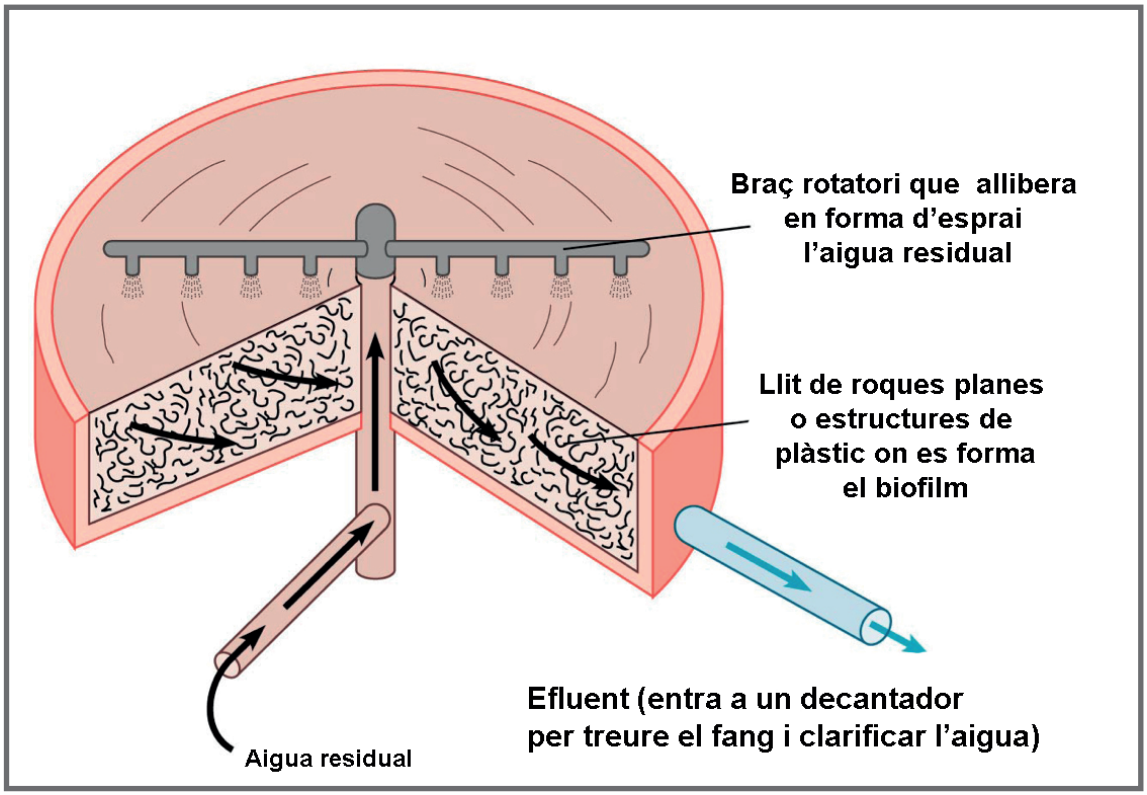
Avantatges del filtre percolador:

- És relativament tolerant a sobrecàrregues hidràuliques puntuals.
- Té un consum energètic moderat.
- És tolerant a la presència de substàncies tòxiques en l'afluent.
- No necessita energia per a l'aireació, a diferència de molts sistemes convencionals.
- Es pot dissenyar per nitrificar.
- Té uns costos d'operació inferiors als fangs actius.
- No hi ha recirculació de fangs secundaris.

Inconvenients del filtre percolador:

- Requereix un sistema de decantació-digestió per als fangs.
- Té unes necessitats d'operació i manteniment moderades. Cal mà d'obra especialitzada.
- És sensible al fred. A l'hivern baixa molt el rendiment a causa de la disminució de la temperatura. A temperatures iguals o inferiors a 0°C pot haver-hi problemes de congelació.
- El cost del material de rebliment és elevat. El cost de construcció és elevat.
- Possibilitat d'obstrucció del sistema de distribució i dels filtres.
- Pot presentar problemes amb xocs de càrregues.
- Risc de males olors a causa d'una manca d'aireació en el llit que es pot produir sota algunes condicions meteorològiques.
- Poden aparèixer problemes d'insectes.
- No es pot controlar la quantitat de biomassa fixada.

Figura 2.4 Esquema d'un filtre perco lador.



Font: miliarium.com (2008)

3. Gàmbia

Es vol fer l'avaluació energètica a Gàmbia perquè és un país on el tractament de residus i les emissions de CO_2 i altres GEH són temes pendents.

Gàmbia és una república de l'Àfrica occidental. La major part del país està envoltat per Senegal excepte per l'oest, on hi ha la desembocadura del riu Gàmbia a l'oceà Atlàntic. La capital de Gàmbia, a la mateixa desembocadura, és Banjul.

Figura 3.1 Localització de Gàmbia.

Font: adaptat de Wikimedia Commons (2015).

És un país petit i estret que té menys de 48 km d'amplada, definit pel curs del riu Gàmbia. Aquesta frontera es va definir el 1889 en un acord entre el Regne Unit i França.

Antiga colònia britànica, es va declarar independent el 18 de febrer de 1965 com a monarquia dins la Commonwealth. Va esdevenir una república el 1970 i, entre 1982 i 1989, va formar una confederació amb el Senegal (Access Gambia, 2009).

L'actual president, el Coronel Yahya Jammeh, va accedir al poder el juliol de 1994, després de dur a terme un cop d'estat i derrocar a Dawda Jawara, que presidia el país en aquell moment. Els últims anys ha intentat donar una certa legitimitat democràtica al règim mitjançant la celebració d'eleccions tant legislatives com presidencials (Oficina d'informació diplomàtica, 2014). A la Taula 3.1 es recullen les característiques generals del país.

Taula 3.1 Característiques generals

Nom oficial:	Republic of The Gambia.
Límits:	Rodejada per Senegal
Població:	1.882.450 hab. (Est. Banco Mundial)
Capital:	Banjul, 35.000 habitants.
Altres ciutats:	Serrekunda, 340.000 hab., Brikama: 78.000 hab. i Basse 15.000 hab.
Idioma oficial:	Anglès.
Altres idiomes:	Mandinka, wolof, jola...
Moneda:	Dalasi (1 € = 50 Dalasi)
Religió:	Islam 90%, cristiana 6%
Composició població:	42% mandinkas; 19% fula; 15% wolof; 10% jola; 8% serehule; 6% altres.
Forma d'Estat:	República presidencialista, membre del Commonwealth.
Divisió administrativa:	5 divisions: Lower River (Mansa Konko), Central River (Janjanbureh), Nort Bank (Kerewan), Upper River (Basse) i Western (Brikama). Banjul és una ciutat a part de la resta de les regions.

Font: Oficina d'informació diplomàtica (2014).

3.1 Geografia

Una de les característiques de Gàmbia és que és un país molt pla, l'altitud màxima no sobrepassa els 300 metres sobre el nivell del mar. Té una àrea total d' 11.300 km², dels quals gairebé el 10 % està cobert pel riu Gàmbia i un altre 20% per terres pantanoses i planes al·luvials.

El riu Gàmbia, l'eix del país, arriba uns 480 quilòmetres a l'est i una estreta franja de terra s'estén 15-30 km del Nord i del Sud de les seves ribes.

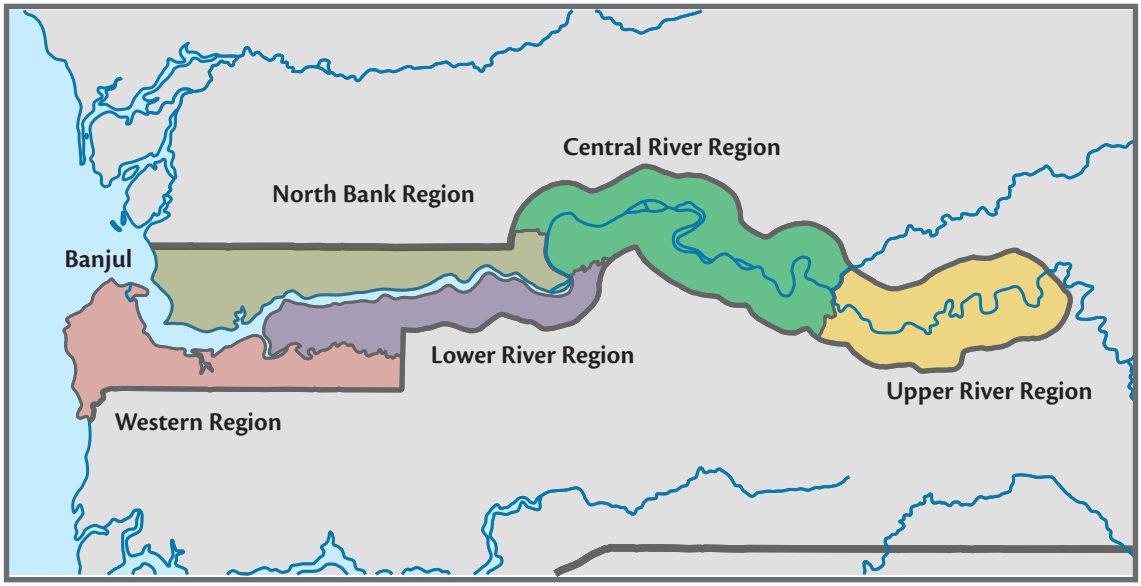
El clima és tropical: hi ha una estació càlida i plujosa (normalment des de juny fins a octubre) i una seca que dura els set mesos restants. L'estació seca es caracteritza per un vent calent i sec que bufa cap al sud des del desert del Sàhara, i que pot portar tempestes de sorra. La precipitació mitjana anual oscil·la entre 850 mm a 1.200 mm i la temperatura mitjana varia entre 20 i 33 ºC. La humitat relativa és al voltant de 68% al llarg de la costa i 41% a l'interior durant l'estació seca i en general, més del 70% en tot el país durant l'estació humida. A partir de 1875 i en endavant hi ha hagut una disminució de les precipitacions que està provocant un augment de la salinitat a les terres baixes i un augment de l'aridesa de les terres altes. (AquaSTAT, 2005).

L'avaluació es farà per zones, que es correspondran amb les d'organització administrativa del país:

Gàmbia està dividida en cinc regions i una ciutat (Figura 3.2). S'exposen la Taula 3.1 les àrees de Govern Local de Gàmbia i, entre parèntesi, les respectives capitals. Al llarg del riu, l'ample de la vall varia i es poden distingir tres grans seccions:

"Upper River", on es produeixen inundacions de tant en tant i l'aigua és sempre dolça. "Central River", on hi ha influència de les marees i l'aigua és dolça durant la temporada de pluges, mentre que durant l'estació seca, quan la llengua de sal es mou a 250 quilòmetres aigües amunt, es torna salobre. Així, en l'estació seca, uns 220 quilòmetres d'aigua dolça es perden a les divisions Central i Superior del riu.

Figura 3.2 Regions i districtes de Gàmbia.



Font: Gambia National Agricultural Investment Plan (2011).

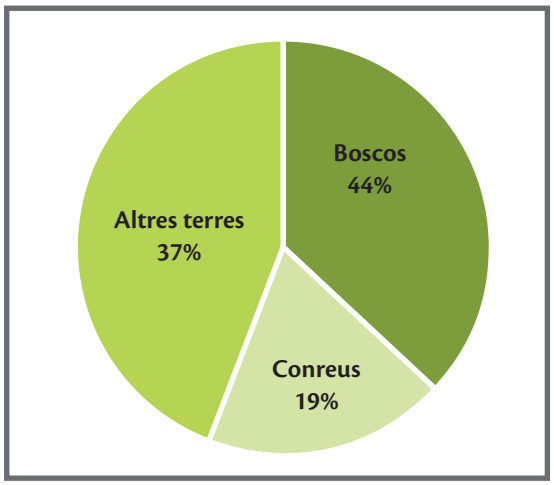
A "Lower River" l'aigua és salada a causa de la permanent influència de les marees.

Al paisatge de Gàmbia es poden distingir principalment dues unitats geomorfològiques: les terres altes i les terres baixes. Als altiplans de les terres altes s'hi troben sòls tropicals resistents a l'erosió per l'aigua. Aquests sòls tenen baixa fertilitat i poca capacitat de retenció d'aigua, però les seves condicions de drenatge són bones.

La vegetació de Gàmbia és la típica de sabana amb arbustos de sotabosc. Els manglars es troben a la meitat occidental del país, a les planes d'inundació del riu.

S'estima que la superfície de terra cultivable és al voltant de 430.000 ha, que és el 38 per cent de la superfície total. El 2002, les terres de cultiu van ocupar 250.000 ha (AquaSTAT, 2005). A la Figura 3.3 es resumeix l'ús de la terra a Gàmbia.

Figura 3.3 Ús de la terra.



Font: FAOSTAT, Country profile (2015)

3.2 Demografia

Les característiques demogràfiques de la població es coneixen a través dels censos nacionals, duts a terme en intervals de deu anys i analitzats per l'Oficina d'Estadística de Gàmbia (GBOS) des de 1963. La població de Gàmbia en el cens de 2013 era d' 1,8 milions. La densitat de població és de 176,1 habitants per quilòmetre quadrat, i l'esperança de vida general a Gàmbia és 64,1 anys. Des del primer cens de 1963, la població de Gàmbia ha augmentat cada deu anys una mitjana de 43,2 per cent. Des de 1950, la taxa de natalitat ha superat constantment la taxa de mortalitat; per tant, la taxa de creixement natural és positiva. Pel que fa a l'estructura d'edats a Gàmbia predomina el segment de 15 a 64 anys d'edat (57,6%). L'edat mitjana de la població és 19,9 anys, i la proporció de gènere és de 0,98 homes per cada dona (The Gambia Bureau of Statistics, 2013). A la Figura 3.4 es recull el creixement de la població des de l'any 1963.

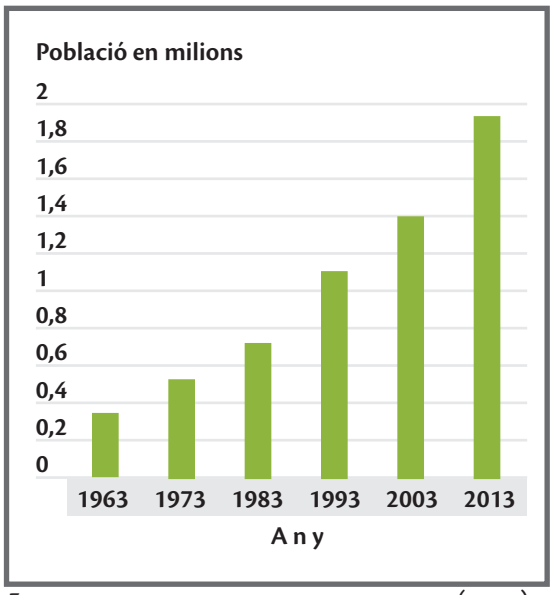
A la Taula 3.2 s'exposa la densitat de població per àrees de govern local, en relació a les zones per les quals s'ha estimat el potencial de producció de biogàs cal tenir en compte que les ciutats de Banjul, Kanifing i Brikama formen part de la regió Western, Mansakonko es troba a Lower River, Kerewan a North Bank, Kuntaur i Janjanbureh a Central River i Basse a Upper River.

Actualment la població rural a Gàmbia s'està desplaçant cada cop més cap a les grans ciutats. A la Figura 3.5 es recull la distribució de la població al 2014. A la Taula 3.3 es mostren els indicadors socials més rellevants.

3.3 Economia

A Gàmbia no hi ha jaciments minerals d'importància ni altres recursos naturals. La seva economia es basa en els productes agrícoles i la ramaderia per al consum intern, del qual depèn el 75% de la població. Tot i així, el sector agrícola té un potencial sense explotar: menys de la meitat de la terra cultivable es conrea.

Figura 3.4 Població i creixement.



Font: The Gambia Bureau of Statistics (2013)

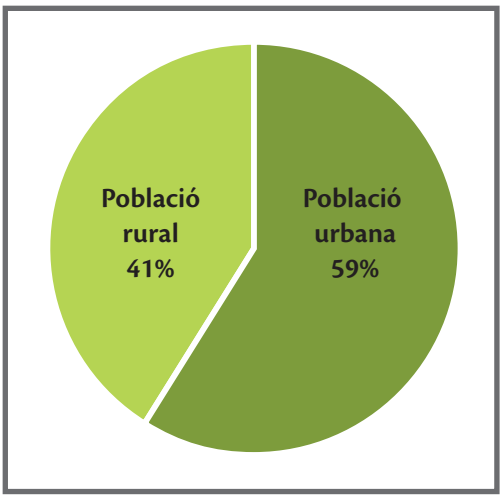
Taula 3.2 Densitat de població al 2003 i 2013 per àrees de govern local.

Àrea Local	Població (habitants)		Àrea (km²)	Densitat (habitants/km²)	
	2003	2013		2003	2013
Banjul	35.061	31.301	12,23	2.866,8	2.559,4
Kanifing	322.735	382.096	75,55	4.271,8	5.057,5
Brikama	389.594	699.704	1.764,25	220,8	396,6
Mansakonko	72.167	82.361	1.618,00	44,6	50,9
Kerewan	172.835	221.054	2.255,50	76,6	50,9
Kuntaur	78.491	99.108	1.466,50	53,5	67,6
Janjanbureh	107.212	126.910	1.427,75	75,1	88,9
Basse	182.586	239.916	2.069,50	88,2	115,9
Total	**1.360.681**	**1,882.450**	**10.689,28**	**127,3**	**176,1**

Font: The Gambia Bureau of Statistics (2013)

La indústria se centra en la transformació de productes agrícoles (principalment cacauet i arròs) i de peix. El turisme va ser una important font d'ingressos fins al 2000, que va disminuir. L' activitat depèn fonamentalment de les ajudes al desenvolupament del Fons Monetari Internacional i de les d'emergència dels països desenvolupats. El turisme, que majoritàriament es basa en les platges, en els observadors d'aus i en les visites dels afroamericans, constitueix al voltant del 18% del PIB de Gàmbia (Central Intelligence Agency, 2013).

Figura 3.5 Població rural i urbana a Gàmbia



Font: FAOSTAT, country profile (2015).

Taula 3.3 Indicadors socials bàsics.

Indicadors:	
Renta per càpita:	618 $ USA
Coeficient GINI:	47 (2005)
Esperança de vida 2010:	64,1 anys
Taxa de mortalitat infantil 2010 (morts per 1000 individus any):	78
Creixement de la població:	2,4% (2011, est.)
IDH, valor numèric:	0,420. Posició: 155
Taxa bruta de natalitat 2010 (naixements per 1000 individus any):	34,19
Taxa total fecunditat 2010:	4,9

Font: Oficina d'informació diplomàtica (2014).

Gàmbia és un dels països més pobres del món, ocupant el lloc 155 de 177 països en el rànquing de 2008 de l'Índex de Desenvolupament Humà del PNUD (IDH). D'acord amb l'Índex de Pobresa Humana del PNUD (IPH-1) de 2004, la pobresa era d'un 40,9 per cent, amb la pobresa rural superant lleugerament les taxes de pobresa urbana, excepte a Banjul, on la taxa és molt menor. Tot i això, el PIB per càpita de Gàmbia és superior al de Benín, Senegal o Togo, però l'alfabetització és baixa per als estàndards regionals.

Els serveis representen més del 50 per cent del PIB, fet que reflecteix la importància del comerç de reexportació i del turisme. L'agricultura representa al voltant d'un terç del PIB, però més del 70 per cent de l'ocupació. El sector manufacturer està poc desenvolupat fins i tot per als estàndards d'Àfrica occidental, proporcionant només el 5 per cent del PIB i mostrant poc dinamisme (Central Intelligence Agency, 2013.) A continuació es resumeixen algunes dades que indiquen la situació econòmica a Gàmbia (Access Gambia):

- Pel que fa a l'agricultura, el que més es produeix són cacauets, arròs, mill, sègol, blat de moro, sèsam, cassava i palma; el bestiar més comú són vaques, ovelles i cabres.
- Els Productes Bàsics d'Exportació són: productes de cacauet, peix, cotó en branca, ametlla de palma, les pells i el comerç de reexportació. Els principals socis d'exportació són: Índia (37,7%), Xina (17,5%), Regne Unit (8,7%), França (5,1%) i Bèlgica (4,2%).
- Les principals indústries es basen en el processament de cacauets, de peix i de pells, en turisme; begudes, muntatge de maquinària agrícola, fusteria, metal·listeria i roba.
- Els productes importats solen ser: aliments (inclòs l'arròs), la farina, el sucre, els productes manufacturats, el petroli, el fuel pesat, el ciment, els vehicles automòbils i els equips de maquinària. Els principals socis d'importació són: Xina (23,7%), Senegal (11,5%), Costa d'Ivori (8,3%), el Brasil (8%) i Països Baixos (5,2%).

A la Taula 3.4 es recullen els indicadors econòmics bàsics del país.

3.4 Situació actual

L'ús d'energies renovables queda molt allunyat de la situació energètica que viu Gàmbia actualment; la gestió del medi ambient i en concret dels residus sòlids s'està convertint en un dels principals problemes de la salut pública i ambiental a les zones urbanes degut a l'augment de la migració interna cap a les ciutats; tant l'agricultura com la pesca són essencials per al país en molts aspectes però encara tenen moltes mancances de funcionament.

La realitat i la vida quotidiana de Gàmbia són molt diferents de les que es viuen als països en desenvolupament. De cara a poder comprendre el treball és necessari conèixer la situació actual del país i quin és el seu funcionament. En aquest apartat es resumeix el marc del treball.

Taula 3.4 indicadors econòmics bàsics.

Indicadors econòmics bàsics	*2008*	*2009*	*2010*	*2011*
PIB total (US$)	1036 M	982 M	1038	144
PIB per càpita (US$)	634	579	605	638
Creixement PIB (% anual)	6,3	6,7	5,0	5,4
Inflació (% PIB)	4,4	4,5	3,8	5,0
Agricultura (% PIB)			27,5	
Indústria (% PIB)			15,5	
Serveis (% PIB)			57,1	
Exportacions de béns i serveis (% PIB)	8,4	9,7	10,3	10,7
Importacions de béns i serveis (% PIB)	29,8	28,8	30,5	30,5

Font: Oficina d'informació diplomàtica (2014)

3.4.1 Energia

L'electricitat a l'àrea de Banjul es produeix mitjançant benzina i gasoil. La benzina utilitzada per a produir electricitat s'importa suposant un gran cost per a l'economia, fet que comporta que el país sigui vulnerable als canvis en els preus del petroli. Això, entre altres factors, condueix a Gàmbia a tenir una de les tarifes elèctriques més altes de la regió (Sustainable Energy for All, 2012). Actualment hi ha tres plantes d'energia a Gàmbia, dues d'elles a l'àrea metropolitana de la capital.

El riu Gàmbia no ofereix potencial per a l'energia hidroelèctrica ja que dins les fronteres del país no hi ha desnivells de més de deu metres. No obstant això, l'organització per a l'explotació del riu Gàmbia va proposar un projecte energètic regional per a la construcció d'una presa al riu al sud del Senegal. A causa de l'augment dels costos i els entorns polítics fràgils en molts dels països involucrats, l'execució del projecte s'ha retardat més de 30 anys.

Igual que el combustible utilitzat per a l'electricitat, tots els combustibles per al transport, inclosos els combustibles d'aviació, s'importen. El cost de les importacions de combustible ha estat sempre un important drenatge de les reserves de divises. A la Taula 3.5 s'exposa la capacitat instal·lada.

El sector energètic a Gàmbia es veu desafiat per una sèrie de punts que dificulten l'accés universal a l'electricitat.

Els punts dèbils del sector de l'energia són:

- La insuficiència de la xarxa de transmissió i distribució.
- La manca de diversitat i l'alt cost del combustible així com el subministrament irregular de combustible per la generació d'electricitat.
- Ineficiències operacionals de NAWEC, empresa d'electricitat i aigua pública, que resulten en mala transmissió i pèrdues de distribució.
- Pobre acompliment financer de NAWEC.
- Escassa fiabilitat del subministrament elèctric de la xarxa.
- Hores limitades de subministrament d'energia amb generadors autònoms de les zones rurals.
- Alts aranzels d'electricitat i electricitat no assequible.

Taula 3.5 Generació d'electricitat instal·lada a les províncies, 2010.

Província	*Capacitat instal·lada (kW)*
Barra	368
Kerewan	536
Kaur	145
Farafenni	1400
Bansang	600
Basse	1560
Total	**4249**

Font: NAWEC (2012)

Cal assenyalar que més del 80% de l'energia total consumida deriva de la llenya, que també representa més del 90% del consum d'energia a la llar, a les zones rurals aquest valor és del 97% (Sustainable Energy for All, 2012). La majoria de les zones rurals no tenen accés a l'electricitat, la llenya es talla principalment de boscos comunitaris o d'arbusts prop dels pobles. Aquest patró de consum no és sostenible i cada vegada és més evident que està tenint lloc una considerable desforestació.

El consum total d'energia primària a Gàmbia l'any 2012 va ser d'uns 150.000 TEP/any (Energy Information Administration, 2012).

Per altra banda, l'ús continuat de carbó de llenya com a combustible per cuinar és ineficient i insostenible. La producció de carbó vegetal és sovint destructiva i consumeix una considerable quantitat de fusta en el procés de conversió.

3.4.2 Gestió del medi ambient

A continuació es resumeix la situació del tractament de residus sòlids urbans i de la gestió i l'ús de l'aigua, àmbits que van directament relacionats amb la generació de residus orgànics i la producció de biogàs.

Tractament de residus sòlids urbans

En l'actualitat l'optimització del servei de recollida de RSU (Residus Sòlids Urbans) està limitada per pobres infraestructures, per recursos inadequats i per manca de finançament. Les autoritats encarregades de la gestió de residus han de modernitzar els processos de tractament i recollida de residus. El reciclatge és una part clau de la solució.

Els residus sòlids de la ciutat de Banjul es dipositen a l'abocador Milla 2, mentre que els de Kanifing i Brikama es destinen a l'abocador Bakoteh (Figura 3.6). Aquests abocadors estan donant lloc a conseqüències ambientals greus tals com la contaminació de les aigües subterrànies i el sòl.

El veritable problema, però, és la falta de gestió ambiental a nivell de ciutat. En les últimes dècades, el desenvolupament econòmic i social de Gàmbia no ha tingut en compte la protecció del medi ambient. El sistema de recollida de residus a Gàmbia no és regular, no separa els residus, i no hi ha prou vehicles per cobrir tota l'àrea. Com a resultat els residus es dipositen de manera indiscriminada dins de barris i àrees comercials. La crema de residus és una pràctica habitual que contribueix a la contamina-

Figura 3.6 localització dels abocadors.

Font: Adaptat Google Maps (2015).

ció de l'aire. Moltes de les escombraries queden sense recollir i provoquen un efecte negatiu en la salut pública, ja que promouen la reproducció de vectors de malalties com ara escarabats, rates, mosques i mosquits.

Visualment, els abocadors causen cert impacte ja que es troben en zones que estan densament poblades i són visibles per als residents, transeünts i automobilistes. Sovint el fum i la pudor de la descomposició cobreix part de les zones residencials i de l'anomenada carretera principal.

En l'actualitat, l'accés fàcil i sense control als abocadors fa que hi hagi crema indiscriminada i incontrolada de residus, que no estan coberts ni compactats (Sanneh et al., 2011).

Al sud de l'abocador Bakoteh corre el Rierol Kotu, que desemboca a l'Oceà Atlàntic. El riu conté contaminants dissolts o suspesos en l'aigua. El nivell de contaminació de l'aigua superficial al voltant de l'abocador supera el nivell de contaminació acceptable establert a l' Informe d'Aplicació i Qualitat Ambiental Gàmbia, 1997 (Nzainga, 2002). A més, a pocs metres d'aquest abocador hi ha l'orfenat més gran de Gàmbia, que es veu afectat per les grans quantitats de fum que es desprenen de l'abocador.

Per tant, aquests abocadors són una font important de lixiviats, que contaminen el sòl i les aigües subterrànies. El nivell freàtic als abocadors és inferior a 2 m, hi ha alt nivell de fecals i contaminació de coliformes totals en alguns pous situats a prop dels llocs. L'alt nivell de contaminació bacteriològica

implica que l'aigua no s'hauria d'utilitzar per fregar la vaixella o banyar-se, malgrat això la majoria de les llars que hi ha a l'entorn dels abocadors fan ús de l'aigua dels pous per al bany, rentar els plats o la roba, i un percentatge lleugerament inferior utilitzen els pous per cuinar (Sanneh et al., 2011).

Així doncs, la recol·lecció, el transport i la disposició dels RSU a Gàmbia és poc organitzada, sense suport tècnic i caòtica, i està totalment a càrrec dels municipis.

D'altra banda, cada vegada resulta més difícil identificar nous llocs per a la disposició dels residus a causa dels costos de la terra i la manca de superfície. L'eficiència operativa de la gestió dels residus sòlids depèn de la participació activa de les agències municipals de residus i dels ciutadans.

Tot i que no hi ha cap planta de reciclatge al país, la gent és conscient de l'existència dels compradors materials reciclables com l'acer, les bateries i els plàstics tot i que la venda de deixalles no és una pràctica habitual (Sanneh et al., 2011).

Actualment no hi ha ordenances municipals ni una legislació de gestió de residus. Fins ara, la participació del sector privat en la gestió de residus no ha estat destacable. Aquest fet pot ser atribuït a l'alta inversió de capital inicial que és necessària per adquirir la maquinària i els equips. A més, la majoria dels operadors privats tenen molt poca experiència en la gestió de residus. A les Figures 3.7 i 3.8 es veuen diferents etapes de la gestió de residus.

Figura 3.7 Bestiar a l' abocador Bakoteh.

Font: gambia.com (2014)

Figura 3.8 Recollida de residus al mercat de Banjul.

Autor: Marina Carmona Maurici

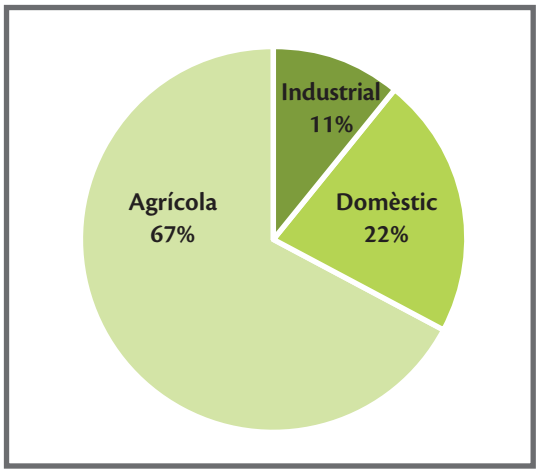
Ús de l'aigua

L'any 2000 el consum total d'aigua va ser de 31,8 milions de metres cúbics (Aquastat, 2005). El sector que més aigua va fer servir va ser l'agrícola amb 21.300.000 m^3/any (67% del total), seguit pel sector domèstic amb 6,9 milions de m^3/any (22%) i la indústria, que va consumir 3,6 milions de m^3/any (11%) (Figura 3.9).

Als pobles l'aigua es recull de les fonts i sovint es fan llargs trajectes per arribar-hi. Rarament es compta amb sistemes tecnificats de reg o de recolecció de l'aigua. És per això que la producció de cultius va molt lligada a l'època de pluges.

Gàmbia no disposa de plantes depuradores per tractar les aigües residuals. En les zones de les ciutats on tenen aigua corrent als habitatges, les aigües residuals s'aboquen a fosses sèptiques, latrines o directament a canals descoberts a les vores dels carrers que condueixen a l'Atlàntic. En el cas de la capital, com que la situació geogràfica és majoritariament envoltada de mar, el nivell freàtic és alt i la possibilitat de tenir fossa sèptica és mínima, és per aquest motiu que la majoria de les aigües residuals tant domèstiques com industrials van a parar al mar. L'actual gestió de les aigües dóna lloc a la presència de mosquits, que són vectors de malalties. Es calcula que 2.400 morts van ser causades per la mala higienització i sanitat de l'aigua, el que suposa un 13,5% de les morts totals (UNWATER, 2014). Els efluents industrials són descarregats sense tractament i poden contaminar les aigües subterrànies.

Figura 3.9 usos de l'aigua a Gàmbia.



Font:Aquastat (2005)

3.4.3 Producció

Agricultura i ramaderia

A Gàmbia l'agricultura és principalment extensiva. Alguns dels residus agrícoles (com per exemple la palla) s'utilitzen com a farratge per als animals i altres com a combustible en forns molt precaris, que poden causar problemes de salut i danys al medi ambient. La resta es disposen al voltant dels camps, s'apilen o es cremen, causant problemes de contaminació de l'aire.

El mètode de cria del bestiar utilitzat és principalment tradicional, pastura extensiva, i la majoria de la producció està dirigida al mercat domèstic.

Durant l'estació seca els animals pasturen a les terres de cultiu collides i estan limitats a àrees restringides o lligats durant la temporada de collita. Sovint romanen tancats durant les èpoques de pluges.

Tot i el pas dels anys segueix havent-hi una gestió molt pobre en algunes zones pastorals. Durant el període no plujós, així com en anys de poques pluges, el bestiar es mou entre les planes d'inundació i els boscos a la recerca d'aigua i pastures més verdes. Cal destacar l'alta mortalitat dels animals causada per les freqüents malalties en la cria del bestiar (per exemple: neumònia, malalties digestives i paràsits).

Els remugants, principalment ovelles i cabres, es mantenen en recintes privats (com poden ser els patis de les comunitats de cases familiars) durant la nit (Access Gambia, 2009).

Alguns pastors tenen animals destinats al transport de mercaderies i per al treball al camp com ara ases, caballs, bous i vaques lleteres.

Pesca

El sector artesanal és el major productor de peix, al voltant del 40% del peix es comercialitza i es consumeix fumat o sec. El peix és la font més barata de proteïna animal al país i el processament tradicional de peixos a Gàmbia és un mitjà important de fer el peix accessible per als consumidors, especialment per als que viuen a les zones rurals. El mercat de peix fumat s'està expandint, tot i que el baix nivell d'organització dels productors i comerciants limita l'eficiència del comerç.

Per tant, els mètodes de manipulació i processament de peix són generalment insuficients i donen lloc a grans pèrdues de post collita, que s'estimen entre un 20 i un 30% (Mendy, 1996). Una de les raons per les quals les pèrdues són elevades és la manca de recursos per a obtenir gel i poder conservar el producte en bon estat. Gairebé no es fabrica gel i això comporta un increment del cost.

Es creu que els recursos de peixos del riu estan sub explotats i que les millores en la tecnologia de pesca permetrien un augment de captures (Mendy, 1996). A les zones rurals es pesca en embarcacions petites on gairebé no hi cap ni una persona, són molt inestables i sovint massa velles (Figura 3.10).

La major part del peix produït a Gàmbia ve de la pesca marina. Al mar hi operen embarcacions artesanals i de pesca industrial. Per minimitzar el conflicte entre els dos tipus d'embarcacions la pesca es divideix en zones.

El subsector artesanal va evolucionar a partir de la utilització de mètodes simples per a la captura de peixos a mètodes més eficaços i eficients, les principals tècniques aplicades són xarxes de malla, ganxos i trampes. Encara que els pescadors artesanals poden generalment ser considerats minoria, l'artesania segueix dominant el sector de la pesca de Gàmbia (Mendy, 1996).

Les activitats pesqueres industrials solen implicar grans vaixells de pesca en alta mar (sovint de propietat estrangera). Així, la major part de la pesca industrial es duu a terme per vaixells d'altres països que desembarquen el peix en ports estrangers, per tant la captura es registra sota bandera estrangera.

Figura 3.10 Pescador al riu Gàmbia.

Autor: Jason Florio.

Indústria

El sector manufacturer de Gàmbia està en desenvolupament, amb unes bases de fabricació limitades, una gamma pobre d'habilitats i tecnologia, i centrat principalment en el mercat intern.

Gràcies al clima favorable del país, als sòls rics i les grans extensions de terra cultivable s'hi conrea una àmplia varietat de cultius alimentaris. No obstant això, a causa de la manca d'emmagatzematge, la manipulació i les instal·lacions inadequats, es perden grans quantitats de producte cada any (Government of The Gambia, 2011).

L'augment de la població urbana i de la indústria turística, ha comportat importar grans quantitats d'aliments i begudes processats, que podrien ser elaborats amb matèries primeres locals. Els mercats regionals en els països veïns també són un mercat potencial i ja estan sent subministrats per companyies de processament d'aliments i begudes localitzades a Gàmbia.

Donada la mida de les importacions anuals de béns com ara suc de fruites, aliment per a aviram, fruits secs torrats, confiteria i productes làctics, el sector ofereix oportunitats d'inversió significatives. Hi ha una necessitat d'establir una indústria processadora de suc de fruita per atendre els excedents de tomàquets frescos, mangos, llimones, taronges i altres fruites. Aquests productes alimentaris tenen un major potencial d'exportació a la regió d'Àfrica Occidental, així com de satisfer la demanda local causada pel creixement del sector turístic del país.

A Gàmbia hi ha poca indústria, les indústries existents inclouen el processat de cacauet, la construcció i reparació d'embarcacions fluvials, l'artesania als pobles i la producció manufacturera de roba. Algunes de les empreses a tenir en compte són: GAMBEGA (planta d'embotellament), Gamwater, Rei Kombo (destil·leria), Lyncoln Solucions (maquinària), Pelican Seafood i altres (Government of The Gambia, 2011).

4. Metodologia

El govern de Gàmbia no compta amb informació sobre la quantitat de residus orgànics al país, és per això que ha estat necessari estimar la quantitat de deixalles generada partir de les dades de producció, en el cas de l'agricultura i les indústries, i a partir del nombre de caps de bestiar en el cas de la ramaderia. Els valors emprats s'han obtingut de diferents fonts, que s'exposen en el següent-subapartat: 4.1 Bibliografia base. En base als valors obtinguts en aquesta primera recerca (recollits a l'apartat 5) s'han calculat les emissions de metà que s'alliberen a l'atmosfera actualment. Els mètodes pels quals s'ha determinat la quantitat d'energia que es podria obtenir aplicant digestió anaeròbia també s'expliquen en aquest segment del treball. Els càlculs del potencial de producció de biogàs s'han fet per regions.

Ha contribuït a la cerca d'informació i al coneixement del país el fet que l'any 2013 es va anar a visitar Gàmbia i es compta amb el contacte d'habitants de diferents regions i de la Fundació Kalilu Jammeh, que treballa al país.

S'han plantejat tres hipòtesis per poder valorar la importància del tractament i gestió dels residus:

1. Com repercutiria en el balanç del país si un 50% del metà que emeten actualment els abocadors es recuperés tractant els residus amb un reactor UASB.
2. Com repercutiria en el balanç del país si un 50% del metà que emeten actualment les aigües residuals es pogués recuperar tractant-les amb un reactor UASB.
3. Si les aigües residuals generades actualment es tractessin amb un sistema aerobi simple, quines serien les emissions de metà a l'atmosfera

4.1 Bibliografia base

En aquest apartat es recullen les fonts que s'han consultat per a determinar les quantitats que es generen de cada tipus de residu.

4.1.1 Residus de la indústria agroalimentària

A continuació es mostren les fonts de les quals s'han extret les dades de residus animals, vegetals, làctics i de fleca i pastisseria.

Residus animals

Aquest grup de residus està conformat tant per residus carnis com per residus de la ramaderia.

La quantitat de caps de bestiar per zones s'ha obtingut de GLiPHA (Global Livestock Production and Health Atlas), FAO (2005).

Per al càlcul de quantitat de fems, de gallinassa o de purins generats s'ha fet servit el valor de sòlids volàtils que produeix cada animal en un dia proposat per l'IPCC (2006) (Taula 4.2).

Pel que fa als residus animals de la indústria pesquera, la quantitat de residu s'ha calculat a partir de la producció de peix obtinguda de les estadístiques de la FAO, FishSTAT. Per conèixer la quantitat de residu generat s'ha consultat el document Gustavsson (2011) que indica les pèrdues de cada tipus d'aliment per regió.

Per als animals precursors de productes càrnis, la quantitat d'animals sacrificats s'ha extret, també, de GLiPHA, FAO (2005), els residus generats s'han estimat segons els percentatges indicats al document de (Seré i Steinfeld, 1995). El pes de cada tipus d'animals a Gàmbia s'ha extret del IPCC (2006).

Residus vegetals

Els residus vegetals que s'han tingut en compte són els de cereals, d'oleaginoses i llegums, d'arrels i tuberculoses, d'oli vegetal, de fruita i hortalisses i de producció de cervesa.

Per als residus vegetals, s'han considerat aquells productes que més es conreen al país. No es disposa de dades de residus de cultius, és per això que s'ha calculat la quantitat de residu a partir de la producció anual extreta de FAOSTAT/producció i la relació residu-cultiu que s'exposa a la Taula 4.11, inclosa al Llibre de treball de l'IPCC.

Els residus cervesers s'han calculat a partir de la producció de cervesa a Gàmbia del document publicat per Sustainable energy for all, (2012) i s'ha estimat el residu que es genera del procés de fabricació a partir de la informació aportada per AINIA (1996) que exposa que es produeixen 20 kg de bagàs per hectolitre de cervesa i 0,64 kg de llevat residual per hectolitre de cervesa.

Les tones d'oli de palma produïdes a l'any s'han trobat a FAOSTAT/producció, i la quantitat de residu que es genera durant el procés de fabricació s'ha obtingut de l'article de Poh (2008).

Residus làctics

Els residus làctics s'han estimat en base a les dades de producció de llet a Gàmbia disponibles a FAOSTAT/ producció/ramaderia processada i la fracció de residu per tona de llet s'ha determinat amb els percentatges indicats al document de Gustavsson (2011). S'ha considerat que un 25% de la producció és residual.

Residus de fleca i pastisseria

Les dades de producció s'han extret de FAOSTAT/ producció. Els residus que deriven del procés de producció s'han estimat a partir dels percentatges proposats al document de Wang et al. (2006).

4.1.2 Fracció orgánica dels residus municipals

Les dades de la quantitat de residus als abocadors i de la seva composició s'han extret de l'article de Sanneh et al. (2011).

4.1.3 Aigües residuals

Per realitzar aquest apartat s'han extret les dades de població per regions del Cens de Gàmbia del 2013, publicat per The Gambia Bureau of Statistics (2013).

Les dades de generació d'aigües s'han obtingut del Manual de l'IPCC (2006) i les de producció de cada indústria de FAOSTAT/Productes.

4.1.4 Energia

Les dades que s'han fet servir per estimar les emissions de la crema de combustibles són les proposades pel Llibre de treball i el Manual de referència de l'IPCC tenint en compte les importacions de combustibles extretes d'Access Gambia (2009).

4.2 Estimació de les emissions de metà a l'atmosfera

Per completar l'estudi de les emissions de CH_4 a l'atmosfera s'han seguit les directrius de l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) per als inventaris nacionals de gasos d'efecte hivernacle, versió revisada al 2006. Els sectors en què es divideix la quantificació són: agricultura i ramaderia, silvicultura i altres usos de la terra, energia i residus.

4.2.1 Agricultura i ramaderia

Fermentació entèrica

Les emissions de metà procedents de la fermentació entèrica s'originen en el gas metà produït en els sistemes digestius del remugants i, en menys quantitat, dels no remugants.

Les emissions han estat calculades mitjançant l'equació 4.1 proposada al llibre de treball de l'IPCC (2006):

$$\textit{Emissió} = A \times EF \qquad \text{Equació 4.1}$$

On:
Emissió = emissions de metà en kg CH_4/any;
A = Dades d'activitat, nombre de bestiar en caps
EF = Factors d'emissió per defecte de l'IPCC expressats en unitats de kg de CH_4 per cap i per any, Taula 4.1.

Gestió dels fems

Les emissions de gas procedents de la gestió dels fems provenen del metà generat durant els processos anaeròbics de descomposició dels fems. A continuació es mostren les equacions que s'han aplicat:

Equació 4.2

$$CH_{4\ Fems} = \sum \frac{(EF_{(T)} \times N_{(T)})}{10^6}$$

On:
CH_4 Fems = emissions de CH_4 de la gestió de fems per a una població definida, Gg CH_4 any^{-1}
$EF_{(T)}$= factor d'emissió anual per a la categoria de bestiar *T*, kg CH_4 $animal^{-1}$ any^{-1}
$N_{(T)}$= quantitat de caps de la categoria de bestiar T del país
T = categoria de bestiar, es correspon amb els tipus de bestiar de la Taula 4.1.

Equació 4.3

$$EF_{(T)} = (SV_{(T)} \times 365)\ [B_{0(T)} \times 0{,}67\ kg/m^3 \times (MCF_{S,k}/100) \times MS_{(T,S,k)}]$$

On:

$EF_{(T)}$= factor d'emissió anual per a la categoria de bestiar T, kg CH_4 animal-1 any-1

$SV_{(T)}$ = sòlids volàtils excretats diàriament per a la categoria de bestiar T, kg de SV animal-1 dia-1

365 = base per a calcular la producció anual de SV, dies any-1

$B_{0(T)}$ = potencial màxim de producció de metà dels fems produïts per bestiar de la categoria T, m^3 CH_4 kg^{-1} de SV excretats

0,67 = factor de conversió de m^3 de CH_4 a kg CH_4

$MCF_{(S,k)}$= factors de conversió de metà per a cada sistema de gestió de fems *S*, per regió climàtica, *k*

$MS_{(T,S,k)}$ = fracció de bestiar de la categoria *T*, per a cada sistema de gestió de fems *S*, per regió climàtica *k*, adimensional

A la Taula 4.2 es mostren els valors de B_0 i SV per a cada tipus de bestiar. S'ha considerat la temperatura mitjana del país de 27 ºC.

Pel que fa a la fracció MS s'ha considerat que: els animals estan tancats durant 4 mesos l'any (època de pluges), i durant aquest temps, la meitat de fems es recullen i la resta s'emmagatzemen; la resta de l'any el bestiar pastura lliurement. Per a cada sistema de tractament i tenint en compte la temperatura mitjana s'ha considerat un valor d'MCF, tal i com indica la metodologia de l'IPCC.

Taula 4.1 Factors d'emissió de metà procedents de la fermentació entèrica del bestiar (kg CH_4 per cap i any).

Tipus de bestiar	*Països en desenvolupament*
Ovelles	5
Cabres	5
Cavalls	18
Mules i ases	10
Porcs	1
Aus de corral	No estimat
Bestiar boví	32

Font: Llibre de treball IPCC (2006)

Taula 4.2 Potencial màxim de producció de metà dels fems, Sòlids volàtils excretats diàriament

Categoria de bestiar	*SV (kg SV/dia)*	*B_0 (m^3 CH_4/ kg SV)*
Ovelles	0,32	0,13
Cabres	0,35	0,13
Ases	0,94	0,26
Cavalls	1,72	0,26
Porcs	0,3	0,29
Aviram	0,02	0,24
Boví	1,5	0,1

Font: Llibre de treball IPCC (2006)

D'aquesta manera s'han obtingut tres categories segons el sistema de tractament dels fems (Taula 4.3):

Taula 4.3 Sistemes de gestió de fems a Gàmbia, Fracció de bestiar i factor de conversió de metà per a cada sistema de gestió de fems, per regió climàtica

Sistema de gestió de fems	*Definició*	*MS*	*MCF %*
Pastura	Els fems dels animals pasturant no es recullen ni es gestionen	0,67	2
Estabulat recollit	Els fems es treuen dels estables i s'apliquen als camps rutinàriament	0,17	1
Estabulats amb emmagatzematge de sòlids	Emmagatzematge dels fems en forma de pila durant períodes de mesos.	0,17	5

Font: IPCC (2006)

Cultiu de l'arròs

El cultiu de l'arròs comporta la generació de gas metà durant la descomposició anaeròbica de la matèria orgànica als camps d'arròs inundats, els escapaments de gas són deguts principalment a la difusió a l'atmosfera procedent de les plantes d'arròs durant l'estació de creixement.

Les dades de producció d'arròs de terres cultivades es desagreguen en règims hídrics d'irrigació i alimentació per pluges. Les emissions de metà procedents dels arrossars poden representar-se amb la següent equació (4.4):

$$F_C = EF \times S \times 10^{-12}$$ Equació 4.4

On:

F_c = estimació de les emissions anuals de metà corresponents a un determinat règim d'aigües per a l'arròs i un fertilitzant orgànic donat, Tg/any

EF = factor d'emissió de metà integrat per a l'estació de collita, en g/m²

S = superfície anual collida en les condicions indicades supra. Es calcula multiplicant la superfície cultivada per el número de collites anuals, m²/any

El factor d'emissió de metà integrat per tenir en compte les variacions estacionals per a l'arròs inundat contínuament sense fertilitzants orgànics és de 20 g/m²

A continuació es mostren els factors d'escala per a les emissions de metà, són valors per als ecosistemes arrossers en relació amb els camps anegats contínuament. Per tant la multiplicació dels factors d'escala a l'equació 4.4 provoca que les emissions anuals de metà variin segons el règim d'aigües dels arrossars (Taula 4.4).

Taula 4.4 Factors d'escala per a les emissions de metà per als ecosistemes arrossers en relació als camps inundats permanentment

Categoria	*Subcategoria*			*Factors d'escala (en relació amb els factors d'emissió per als arrossars inundats contínuament)*
Terres baixes	*Regadiu*	Inundats intermitentment	Aireació senzilla	0,5
	Secà	exposats a la sequera		0,4
	Aigua profunda	profunditat de l'aigua > 100cm		0,6

Font: IPCC (2006)

Crema prescrita de sabanes

Els incendis naturals i els provocats pels humans són freqüents durant l'estació seca, donant com a resultat el reciclatge de nutrients i la conseqüent regeneració. La crema de sabanes genera emissions de metà juntament amb altres gasos. Tot i que no existeix una publicació periòdica que reculli les xifres de la quantitat de sabana cremada, s'han publicat diversos documents d'avaluació, com per exemple el FAO Forest Resource Assesment: Tropical Countries (FAO, 1993). Les dades de la superfície cremada i les emissions de metà s'han calculat segons el mètode proposat per l'IPCC, mitjançant la fòrmula:

Equació 4.5

$$\textit{Emissió} = A \times EF$$

On:

Emissió = emissions de GEH en g CH_4/any

A = dades d'activitat, que representen la massa total de combustible cremat, en kg de matèria seca/any

EF= factos d'emissió per defecte de l'IPCC, expressats en g CH_4 per kg de matèria seca cremada. En aquest cas es calcula aplicant varies taxes al total de carboni alliberat.

En primer lloc, la quantitat de biomassa que realment és consumida pel foc es calcula multiplicant la superfície de sabana per la densitat mitja de biomassa (en aquest cas s'ha adoptat el valor proposat per l'IPCC a Gàmbia: 6,6 t de matèria seca per hectàrea) i per la fracció de la biomassa exposada cremada realment, 0,95 (IPCC, 2006).

En segon lloc, el carboni alliberat es calcula multiplicant la quantitat de biomassa cremada per la fracció oxidada i seguidament per la fracció de carboni. Aquest segon càlcul s'ha fet dividint abans la quantitat de biomassa en dues fraccions: la viva i la morta.

El càlcul segueix prenent per separat la fracció viva i la morta i fent servir diferents fraccions oxidades (0,8 i 1 respectivament) i continguts de carboni (0,45 i 0,4).

En tercer lloc s'apliquen diverses taxes al total de carboni alliberat per estimar les emissions de metà: la relació per al CH_4 s'expressa com a fracció del carboni total, les estimacions de les emissions

resultants es converteixen a pes total aplicant factors estàndards. La relació d'emissió per als càlculs de la crema de sabana que s'ha fet servir és 0,004 (massa de carboni alliberat com a CH_4 -en unitats de C- respecte a la massa total del carboni alliberat durant la crema, també en unitats de C) (IPCC, 2006).

Crema al camp de residus agrícoles

La crema de residus als camps és una pràctica agrícola comú a Gàmbia. S'estima que el percentatge dels residus de les collites cremats al camp és d'un 30% (IPCC, 2006). Les emissions procedents de la combustió dels residus de cultius que són retirats dels camps i es cremen com a font d'energia es calculen a l'apartat corresponent a l'energia.

Per calcular la quantitat de residu s'ha multiplicat la producció anual de cada cultiu per la relació residu-cultiu (Taula 4.11).

A continuació s'estima la quantitat de residus secs mitjançant la fracció de matèria seca de cada cultiu. Per determinar el total de biomassa cremada s'aplica la fracció cremada en camp i la fracció oxidada: 0,90 (Fracció que expressa la biomassa oxidada. No tota la biomassa que es crema s'oxida, una petita part pot romandre com a carboni vegetal) (IPCC, 2006). Es calcula el total del carboni alliberat, que multiplicat per 0,005 (relació d'emissió de la crema de residus agrícoles per al CH_4, és a dir massa de carboni alliberat com a CH_4 -en unitats de C- respecte a la massa total del carboni alliberat durant la crema, també en unitats de C) (IPCC, 2006) permet obtenir les emissions de carboni expressades com a metà. De la multiplicació d'aquest valor per la relació de conversió (16/12) en resulta l'emissió de metà procedent de la crema de residus agrícoles.

4.2.2 Canvis en l'ús de la terra i silvicultura

Conversió de boscos i praderes, crema in situ de biomassa

La tala dels boscos per convertir-los en terres de cultiu suposa generalment el desbrossament del sotabosc i la tala dels arbres, activitats que van seguides de la crema de biomassa in situ o del seu aprofitament com a llenya. Les emissions de CH_4 s'estimen com a relacions respecte als fluxos de carboni emesos durant la crema. Les dades fetes servir provenen del document de la FAO (1993).

El primer que s'ha fet ha estat estimar la pèrdua anual de biomassa per a cada tipus de bosc o prat, a Gàmbia hi ha dues categories: secs i humits amb estació seca llarga. Per a fer-ho s'ha multiplicat la superfície convertida anualment pel canvi net en la densitat de la biomassa. Tot seguit s'ha estimat el carboni alliberat per la crema de biomassa aèrea in situ. A partir de la fracció cremada in situ s'ha calculat la quantitat d'aquesta biomassa . A continuació s'ha estimat la quantitat de biomassa oxidada i coneixent que la fracció de carboni de la biomassa és de 0,5 (quantitat de carboni alliberat de la fracció de biomassa que s'ha oxidat) s'ha obtingut la quantitat de carboni alliberat en la combustió (IPCC, 2006). A partir dels resultats anteriors es calculen les emissions totals de metà mitjançant la relació d'emissió per a la crema a l'aire lliure dels boscos 0,012 (massa de carboni alliberat com a metà en unitats de C), respecte a la massa total de carboni allibetr unitats de i la relació de conversió (relació del pes molecular del metà respecte al pes de carboni a la molècula, és a dir 16/12).

4.2.3 Energia

El mòdul de l'IPCC dedicat a l'energia està dividit en dues categories: crema de combustibles i emissions fugitives. La darrera categoria la conformen les emissions de metà procedents de l'extracció i manipulació del carbó i les procedents de les activitats de petroli i gas natural. No s'ha inclòs en el present treball ja que a Gàmbia no es produeix combustible i no existeixen els combustibles primaris. Activitats de petroli i gas com la mineria del carbó i el refinat del petroli no es duen a terme.

Crema de combustibles

El metà es produeix en petites quantitats durant la crema de combustible degut a la combustió incompleta dels hidrocarburs, les emissions més importants són les de CO_2 resultant de la pròpia combustió del combustible fòssil. El càlcul per al gas metà està dividit en tres passos: estimació del consum anual de combustible per sector en unitats d'energia, estimació dels factors d'emissió per a cada combustible per sector i estimació de les emissions de metà.

Un cop obtingudes les dades de consums de combustible, s'estimen els factors d'emissió, que es poden trobar a la secció 1.4.2 del Manual de Referència de l' IPCC (2006) (Taula 4.5).

Per estimar les emissions de metà s'ha multiplicat el consum de combustible pel factor d'emissió corresponent.

Taula 4.5 Factors d'emissió (kg CH_4/TJ)

			Carbó	*Gas natural*	*Petroli*	*Fusta*	*Carbó vegetal*	*Altra biomassa i residus*
Indústria de l'energia			1	1	3	30	200	30
Indústries manofactureres i construcció			10	5	2	30	200	30
Transport	Aviació nacional				0,5			
	Per carretera			50	Gasolina/Gasoil 20 5			
	Ferrocarrils		10		5			
	Navegació nacional		10		5			
Altres sectors	Comercial/institucional		10	5	10	300	200	300
	Residencial		300	5	10	300	200	300
	Agricultura/ silvicultura/ pesca	Fonts estacionàries	300	5	10	300	200	300
		Fonts mòbils		5	5			

Font: Manual de Referència IPCC (2006)

4.2.4 Residus

Deposicions de residus sòlids als abocadors

En aquesta secció s'estimen les emissions de metà procedents dels abocadors de residus sòlids. La descomposició anaeròbia de la matèria orgànica a dits abocadors és font d'emissions de CH_4. A la metodologia seguida es divideixen els abocadors en controlats i no controlats, depenent del grau i del tipus de control actiu a l'abocador. Aquesta classificació s'utilitza per aplicar un Factor de Conversió per al Metà (MCF) que permet calcular el potencial de generació de metà de l'abocador.

A continuació s'exposa la manera com s'han calculat les emissions de metà als abocadors (equació 4.6):

Equació 4.6

$$\textit{Emissions de metà (Gg/any)} = (RSU_T \times RSU_F \times MFC \times COD \times COD_F \times F \times 16/12 - R) \times (1 - OX)$$

On:

RSU_T = total de RSU generats, Gg/any

RSU_F = fracció dels RSU eliminats als abocadors de residus sòlids

MFC = factor de conversió a metà (fracció)

COD = carboni orgànic degradable (fracció)

COD_F = fracció de carboni orgànic que realment es degrada

F = fracció de CH_4 al gas de l'abocador

R = CH_4 recuperat, Gg/any

OX = factor d'oxidació

Com que la totalitat dels residus s'eliminen en abocadors no controlats, el factor de conversió a metà pren el valor per defecte 0,6 (IPCC, 2006). Per a F i OX es consideren els valors per defecte (0,5 i 0 respectivament). El càlcul de la fracció de COD (Equació 4.7) s'ha realitzat a partir de la composició dels residus al país i dels valors per defecte per al carboni orgànic degradable de cada tipus de residus (Taula 4.6).

Taula 4.6 Valors per defecte del carboni orgànic degradable als principals tipus de residus.

Tipus de residu	*Percentatge de COD (en pes)*
A. Paper i tèxtils	40
B. Residus de jardins i parcs i altres residus orgànics putrescibles	17
C. Restes d'aliments	15
D. Restes de fusta i palla	30

Font: Bingemer i Crutzen (1987)

La fracció del COD que realment es degrada és 0,77 (IPCC, 2006). El carboni orgànic degradable no es descomposa del tot i part del material degradable romàn a l'abocador inclús durant llargs períodes.

Equació 4.7

$$\textit{Percentatge de COD (per pes)} = 0{,}4(A) + 0{,}17(B) + 0{,}15(C) + 0{,}30(D)$$

Tractament de les aigües residuals

El tractament d'aquest tipus d'aigües amb elevat contingut de material orgànic pot originar quantitats considerables de metà. Les aigües residuals industrials de Gàmbia no es tracten in situ sinó que s'evacuen juntament amb les aigües domèstiques, per tant se segueix el mateix procediment per als dos tipus d'aigües. El factor principal que determina el potencial de generació de gas de les aigües residuals és la quantitat de matèria orgànica que contenen. En el cas de les aigües domèstiques i comercials, això correspon a la demanda bioquímica d'oxigen; en el dels efluents industrials es fa servir la demanda química d'oxigen (DQO).

La metodologia seguida es divideix el càlcul de tres paràmetres: els factors d'emissió, el total de matèria orgànica, i les estimacions d'emissions. A continuació es mostra l'equació aplicada (4.8).

Equació 4.8

$$\textit{Emissions de } CH_4 = \left[\sum_{i,j} (U_i \times T_{i,j} \times EF_j)\right] \times (TOW - S) - R$$

On:

Emissions de CH_4 = emissions de CH_4 durant l'any, kg CH_4/any

TOW = total de matèria orgànica en les aigües residuals de l'any, kg DBO o DQO/any

S = component orgànic separat com a llots durant l'any, kg DBO o DQO/any

U_i = fracció de la població del grup d'ingressos i .

$T_{i,j}$ = grau d'utilització de via o sistema de tractament i/o eliminació j, per a cada fracció de grup d'ingressos i.

R = quantitat de CH_4 recuperada durant l'any, kg CH_4/any

Per realitzar aquest apartat han fet falta les dades de població per regions.

Per defecte, els valors d'*S* i *R* es consideren zero. El primer pas és el càlcul del Factor d'Emissió; es duu a terme mitjançant els Factors de Conversió de Metà per a cada sistema de tractament i la Capacitat Màxima de Producció de Metà (per a aigües residuals el valor de B_0 és 0,25 kg CH_4/kg DBO), (equació 4.9).

Equació 4.9

$$EF_j = B_o \times MCF_j$$

On:

EF_j = factor d'emissió, kg CH_4/kg DBO o DQO

j = cada via o sistema de tractament i/o eliminació

B_0 = capacitat màxima de producció de CH_4, kg CH_4/kg DBO o DQO, s'ha adoptat un valor de 0,25.

MCF_j = factor corrector per al metà (fracció)

Taula 4.7 Valors del grau d'utilització i dels factors de conversió de metà per a cada tractament

Tipus de tractament	*Grau d'ús*	*MCF*
Eliminació en riu, llac o mar	0,24	0,1
Latrina (molts usuaris)	0,7	0,7
Fossa sèptica	0,1	0,5
Clavegueram estancat	0,17	0,5
Planta de tractament aerobi (ben gestionada)	0	0
Planta de tractament aerobi (mal gestionada i sobrecarregada.)	0	0,3

Font: IPCC (2006)

En el cas del país estudiat (com s'ha explicat anteriorment a l'apartat 3.4.2 Gestió del medi ambient) el tractament de les aigües es troba en desenvolupament, per tant per calcular les emissions de les aigües residuals domèstiques s'han considerat els valors de MFC per als següents tractaments: les fosses obertes o latrines, les aigües descarregades al riu o mar, les fosses sèptiques i el clavegueram estancat (obert i calent). Els valors d'MCF utilitzats i els graus d'ús segons el grup d'ingressos , es recullen a la Taula 4.7.

El procediment segueix amb la determinació de la quantitat total de matèria orgànica degradable a les aigües (TOW). En aquest cas les dades per a les aigües domèstiques i les industrials difereixen. Per a les domèstiques aquest paràmetre és funció de la població humana i de l'índex de generació de DBO per persona (Taula 4.8).

Taula 4.8 Valors estimats de DBO5 a les aigües residuals domèstiques.

Regió	*DBO_5 (kg/persona/dia)*	*DBO_5 (kg/1000 persones/any)*
Àfrica	0,037	13,505

Font: IPCC (2006)

El factor de conversió de DBO_5 a DBO és:
DBO/DBO_5=1,46 (Ronzano i Dapena)
L'equació per a *TOW* per a les aigües residuals domèstiques és:

Equació 4.10

$$TOW = P \times DBO \times I \times 365$$

On:
TOW = total de matèria orgànica en les aigües residuals, kg DBO/any
P = població del país, (persones)
DBO = DBO per càpita específic de la regió, kg/persona/dia
I= factor de correcció de DBO industrial addicional eliminat a les clavegueres

Per a les aigües residuals industrials TOW segueix la següent equació:

Equació 4.11

$$TOW_i = P_i \times W_i \times DQO_i$$

On:

TOW_i = total de matèria orgànica en les aigües residuals de la indústria i, kg DQO/any

i = sector industrial

P_i = producte industrial total del sector industrial i, t/any

W_i = aigües residuals generades, m^3/t producte

DQO_i = rdemanda química d'oxígen (component industrial degradable en les aigües residuals), kg DQO/m^3

Els valors de P_i són a l'apartat 5. Producció i residus generats.

A continuació, a la Taula 4.9 es mostren els valors escollits per a cada paràmetre de la equació segons els sectors de producció.

Taula 4.9 Demanda química d'oxigen i aigues residuals generades per als sectors industrials més rellevants a Gàmbia

Sectors d'alimentació i begudes	*DQO (kg DQO/m^3)*	*Aigües residuals generades (m^3/tona)*
Cervesa	2,9	6,3
Refrescos	17	8
Adoberia	2,5	9
Peix	2,5	13

Font: IPCC (2006)

Finalment s'obtenen les emissions netes de CH_4 aplicant els valors obtinguts a l'equació 4.8.

Per complementar aquest apartat, ja que actualment les aigües residuals no són tractades a Gàmbia, s'han calculat les emissions que generarien si es fes un tractament simple aerobi (hipòtesi 3) i si es recuperés el 50% del metà generat actualment (hipòtesi 2) de manera que es podrà apreciar la diferència en les emissions i justificar la necessitat de sanejar el sistema de tractament de les aigües residuals (hipòtesis explicades amb detall a l'inici de l'apartat 4). A la Taula 4.7 es mostren els factors de conversió de metà en el cas que a les aigües se'ls apliqués un tractament aerobi ben o mal gestionat.

4.1.5 Valoració global de les emissions i recuperacions de metà

A continuació s'exposen els càlculs realitzats per a estimar la reducció d'emissions de CH_4 en el cas de recuperar el 50% del metà alliberat pels abocadors i per les aigües residuals. El fet de tractar els residus per digestió anaeròbia no només disminuiria el metà que actualment s'emet a l'atmosfera sinó que també causaria una baixada d'altres gasos d'efecte hivernacle emesos per l'ús de combustibles fòssils, que serien substituïts pel biogàs.

El primer pas ha estat calcular la quantitat total de metà emès en unitats de CO_2 equivalent. Per a fer ho s'ha considerat que 1 kg de CH_4 equival a 21 kg de CO_2 (Fundación México-Estados Unidos, 2006).

$$\frac{59{,}01 \times 10^6 \ kg\ CH_4}{any} \times \frac{21 kg\ CO_2}{1 kg\ CH_4} = 1.239.210.000\ kg\ CO_2\ eq/any\ emesos$$

Seguidament es calcula la quantitat de metà recuperada en unitats de CO_2 equivalent:

$$\frac{4{,}29 \times 10^6 \ kg\ CH_4}{any} \times \frac{21 kg\ CO_2}{1 kg\ CH_4} = 90.090.000\ kg\ CO_2\ eq/any\ recuperats$$

Finalment s'estima la reducció d'emissions en el cas que el metà recuperat substituís el fuel com a combustible. Per fer ho han fet falta una sèrie de dades:

PCI CH_4=8.600 kcal/m^3 CH_4 (Bradler, 2008)

PCI fuel= 11,61 kWh/kg fuel (Oficina catalana del canvi climàtic, 2012)

1kg fuel=3,05 kg CO_2eq (Oficina catalana del canvi climàtic, 2012)

1m^3 CH_4=0,67 kg (IPCC, 2006)

Obtingudes les dades s'ha realitzat el càlcul següent:

$$\frac{4{,}29 \times 10^6 \ kg\ CH_4}{any} \times \frac{1 m^3\ CH_4}{0{,}67 kg\ CH_4} \times \frac{8.600 kcal}{1 m^3\ CH_4} \times \frac{0{,}001163 kWh}{1\ kcal} \times \frac{1 kg\ fuel}{11{,}61 kWh} \times \frac{3{,}05 kg\ CO_2 eq}{1 kg\ fuel} =$$

$$= 16.823.961{,}9\ kg\ CO_2\ eq/any$$

Per tant, les emissions de CO_2eq finals són la diferència entre les actuals i: el metà recuperat, que s'ha deixat d'emetre, i l'estalviat degut al fuel substituït pel metà recuperat:

Emissions estalviades=90.090 t CO_2 eq+16.823,9t CO_2 eq=106.913,9 t CO_2 eq

La reducció d'emissions seria d'un 8,63%.

4.3 Estimació del potencial energètic dels residus per digestió anaeròbia

En aquesta secció es vol obtenir la quantitat d'energia que es podria generar a partir de diferents residus i subproductes.

Les dades que s'han pogut recopilar han permès fer l'avaluació energètica prenent les divisions del país, que equivaldrien a províncies. Són les següents: Lower River (Mansa Konko), Central River (Janjanbureh), Nort Bank (Kerewan), Upper River (Basse) i Western (Brikama), la ciutat de Banjul s'ha inclòs en aquesta última regió.

Els potencials de generació de metà es calculen en Gg/any i finalment s'expressen en TEP/any. La relació de conversió és la següent: 1m³ CH_4=8.600 kcal i 1TEP=10^7 kcal.

Per matissar dit potencial es defineixen dos termes: potencial disponible i potencial accessible.

- **Potencial disponible:** es deriva de matèries primeres que tècnicament poden ser tractades per digestió anaeròbia per a la producció de biogàs.
- **Potencial accessible:** part del potencial disponible que pot ser objecte de gestió (recollida, transport o emmagatzematge).

Es descarten per tant residus que resultin gairebé impossibles de recollir i transportar fins a una zona de tractament.

4.3.1 Classificació dels residus

Per tal de poder realitzar els càlculs s'han agrupat els redius en tres grans tipus: residus de la indústria agroalimentària, residus municipals i aigües residuals. A Gàmbia no compten amb altres indústries que generin residus orgànics ni amb plantes de tractament d'aigües residuals. Tal i com es mostra a la Taula 4.10 dins el grup de la indústria agroalimentària s'han classificat els residus en categories i subcategories tenint en compte els residus generats pels cultius i els aliments que més es produeixen al país.

4.3.2 Indústria agroalimentària

Per tal de facilitar els càlculs i la comprensió dels resultats aquest apartat es dividirà en els següents subgrups: residus vegetals, residus animals, residus làctics i residus de fleca i pastisseria. Pel que fa als residus del sector agroalimentari, a fi d'obtenir valors de producció de metà per cada subgrup de residus, s'ha fet una tasca de recollida d'informació al respecte a la literatura científica o tècnica (dades a l'apartat 5.1 i fonts al 4.1).

Taula 4.10 Classificació dels residus de la indústria agroalimentària

Grup	*Categoria*	*Subcategoria*	*Residus*
Residus de la indústria agroalimentària	Residus animals	Carnis	residus d'escorxador
			teixit aviram
		Peix	residus de peix
		Fems	boví
			cabres
			ovelles
			cavalls
			ases
		Gallinassa	
		Purins	
	Residus vegetals	Cereals	blat de moro
			mill
			segol
			arròs
		Oleaginoses i llegums	cacauet
			anacard
			sèsam
			llegums
		Arrels i tuberculoses	cassava
		Oli vegetal	oli de palma
		Fruita i hortalisses	
		Producció de cervesa	bagàs
			llevat
	Residus làctics	Llet no apte per al consum	
	Residus fleca i pastisseria	Fleca	pa blanc
		pastisseria	

Conegudes les quantitats de residu generades per cada cultiu, s'han escollit els potencials de generació de biogàs, exposats a la Taula 4.11 juntament amb les relacions residu-cultiu. Els residus orgànics de la indústria alimentària presenten potencials de producció variables (Taula 4.12). A continuació es mostren les dades escollides per calcular el potencial de producció de biogàs dels residus orgànics de la indústria alimentària més rellevants a Gàmbia (Taula 4.12).

Taula 4.11 Dades per al càlcul del potencial de generació de metà dels residus agrícoles

Cultiu	*Relació residus-cultiu*	*Producció de metà*	*%SV*	*Referència*
Blat de moro	1	0,359 m^3 CH_4/kg SV	20,42	Amon et al., 2007
Sèrgol	1,4	0,2075 m^3 CH_4/kg SV	32,38	Jerger et al., 1987
Mill	1,4	57,37 m^3 CH_4/t residu		Jerger et al., 1987
Arròs	1,4	57,37 m^3 CH_4/t residu		Jerger et al., 1987
Hortalisses fresques	0,8	0,42 m^3 CH_4/kg SV	11,25	Bouallagui et al., 2005
Cassava	0,4	0,32 m^3 CH_4/kg SV	18,05	Parawira et al., 2004
Llegums	1,5	67,85 m^3 CH_4/t residu		Rintala et al.,2008
Cacauet	1	0,3 m^3 CH_4/kg SV	17,35	Prabhudessai et al., 2013
Anacards	1	0,66 m^3 CH_4/kg SV	21,20	Prabhudessai et al., 2013
Fruita fresca	0,8	0,325 m^3 CH_4/kg SV	16,56	Al Seadi
Llavor de sèsam	1	290 m^3 CH_4/t residu		Hopwood, 2011

Taula 4.12 Dades empleades per al càlcul del potencial de residus de la indústria alimentària

Tipus de residus	*Font del residu*	*B_0*	*Unitats*	*% SV*	*Referència*
Animals (Carnis)	Peix	0,39	m_3CH_4/kg SV	17,81	Mshandete et al., 2004
	Ovelles	0,60	m_3CH_4/kg SV	91,87	Cuetos et al., 2008
	Cabres	0,60	m_3CH_4/kg SV	91,87	Cuetos et al., 2008
	Porcs	0,62	m_3CH_4/kg SV	23,20	Hejnfelt i Angelidaki, 2009
	Aviram	0,60	m_3CH_4/kg SV	15,23	Salminen i Rintala, 2002
	Boví	0,70	m_3CH_4/kg SV	91,87	Cuetos et al., 2008
Làctics	Llet	30,12	m_3CH_4/t residu		Hernández i Sastre, 1999
Cervesers	Bagàs	76,22	m_3CH_4/t residu		Probiogas
	Llevat	75,58	m_3CH_4/t residu		Probiogas
De fleca	Pa	172,97	m_3CH_4/t residu		Calaveras, 2004
	Pastisseria	222,00	m_3CH_4/t residu		Fórmula de Buswell, 1952
D' oli	Oli de palma	718,00	m_3CH_4/t residu		Probiogas

Tal i com es fa en el treball de Vilamajó (2011) per a determinar la producció de CH_4 dels residus de pastisseria no s'han trobat referències bibliogràfiques, és per això que se suposa que el residu està format per un 100% d'hidrats de carboni i es calcula el potencial utilitzant la fórmula de Buswell (equació 4.12, Buswell i Mueller, 1952):

Equació 4.12

$$C_aH_bO_cN_d + \left(\frac{4a-b-2c+3d}{4}\right) H_2O \rightarrow \left(\frac{4a+b-2c-3d}{8}\right) CH_4 + \left(\frac{4a-b+2c+3d}{8}\right) CO_2 + dNH_3$$

Mitjançant aquestes dades s'han calculat les quantitats de metà en kg CH_4/any, posteriorment s'han convertit a unitats d'energia, TEP.

En referència al potencial de generació dels residus ramaders, la metodologia seguida ha estat la mateixa que s'ha exposat a l'apartat 4.2.1 Agricultura/ Gestió de fems.

4.3.3 Fracció orgànica dels residus sòlids municipals (FORM)

A la secció 3.Gàmbia, s'explica quines són les característiques socials, culturals, urbanístiques i econòmiques que influeixen en la generació de FORM i en el seu tractament. La metodologia seguida per calcular el potencial de producció de biogàs per digestió anaeròbia de la FORM és la mateixa que la que s'ha explicat a l'apartat 4.2.4 Residus/ Deposicions de residus sòlids als abocadors. La FORM que no té com a destí els abocadors no s'ha pogut comptabilitzar ja que no s'hi aplica cap sistema de recollida ni de tractament. Les dades sobre la quantitat de RSU que hi ha als abocadors de Gàmbia i la composició d'aquests residus es recullen a l'apartat 5 del projecte.

Igual que en el cas de les aigües residuals, actualment els RSU no es tracten de manera adequada, no es fa recollida selectiva i es dipositen i cremen en abocadors oberts i no controlats. Això ha portat al desenvolupament d'una hipòtesi per poder destacar la importància de millorar les tecnologies de tractament dels residus sòlids urbans, hipòtesi 1:

1. Com repercutiria en el balanç del país si un 50% del metà que emeten actualment els abocadors es recuperés mitjançant un reactor UASB.

4.3.4 Aigües residuals

Com ja s'ha explicat anteriorment, les aigües residuals del país no es tracten de la manera adequada i directament s'aboquen al riu o al mar a través de clavegueram obert i calent, es dipositen en latrines o fosses sèptiques. És per aquest motiu que no es pot incloure al present estudi el potencial accessible de producció de biogàs per digestió anaeròbia d'aquest tipus de residu. Tot i això s'han desenvolupat les hipòtesis 2 i 3:

2. **Com repercutiria en el balanç del país si un 50% del metà que emeten actualment les aigües residuals es pogués recuperar tractant-les amb un reactor UASB.**

3. **Si les aigües residuals generades actualment es tractessin amb un sistema aerobi simple, quines serien les emissions de metà a l'atmosfera.**

Per desenvolupar les hipòtesis 1 i 2, s'ha seguit el mateix procediment explicat a l'apartat 4.1.4, però tenint en compte que la meitat del metà es recupera.

5. Producció i residus generats

En aquest apartat es mostren les dades i les quantitats de residu que s'han fet servir com a base per als càlculs del potencial energètic. S'ha fet una primera classificació de les dades per facilitar la recerca tant de quantitats de productes com del residu que generen i del potencial energètic d'aquests.

5.1 Indústria agroalimentària

A continuació es recullen les dades de residus animals, vegetals, làctics i de fleca i pastisseria.

5.1.1 Residus animals

Aquest grup de residus està conformat tant per residus carnis com per residus de la ramaderia. A continuació (Taula 5.1) s'exposen els valors utilitzats.

Taula 5.1 Nombre d'animals i residus carnis que generen per zones.

Animals	*Concepte*	*Central River*	*Lower River*	*North Bank*	*Upper River*	*Western*	*TOTAL*	*Referència*
Aviram	Animals	126.693	84.824	122.382	51.234	188.818	573.951	FAO, 2005. GLiPHA
	Animals sacrificats	10.135	6.786	9.791	4.099	15.105	45.916	
	Residu càrnic (kg/any)	6.933	4.642	6.697	2.804	10.332	31.407	Seré i Steinfeld, 1995
Boví	Animals (nombre)	49.473	57.725	77.651	183.854	47.140	415.843	FAO, 2005. GLiPHA
	Animals sacrificats	2.235	569	3.076	711	4.247	10.838	
	Residu càrnic (kg/any)	212.660	54.140	292.681	67.652	404.102	1.031.236	Seré i Steinfeld, 1995
Cabres	Animals (nombre)	8.765	1.571	7.432	12.019	2.481	32.268	FAO, 2005. GLiPHA
	Animals sacrificats	11.746	819	6.756	20.316	9.858	49.495	
	Residu càrnic (kg/any)	140.952	9.828	81.072	243.792	118.296	593.940	Seré i Steinfeld, 1995
Porcs	Animals (nombre)	1.152	1.398	2.289	0	19.442	24.281	FAO, 2005. GLiPHA
	Animals sacrificats	738	896	1.467	0	12.462	15.564	
	Residu càrnic (kg/any)	7.237	8.782	14.379	0	122.131	152.528	Seré i Steinfeld, 1995
Ovelles	Animals (nombre)	47.731	9.590	22.786	73.882	28.588	182.577	FAO, 2005. GLiPHA
	Animals sacrificats	7.047	2.191	2.746	9.521	7.636	29.141	
	Residu càrnic (kg/any)	69.061	21.472	26.911	93.306	74.833	285.582	
Peix	Producció (t)	1.104	4.094	10.778	4.876	25.148	46.000	FishSTAT
	Residu càrnic (t/any)	518	1.921	5.058	2.288	11.801	21.587	Gustavsson, et al., 2011
Cavalls	Animals	8.765	1.571	7.432	12.019	2.481	32.268	FAO, 2005. GLiPHA
Ases	Animals	10.585	7.351	16.525	37.923	13.850	86.234	FAO, 2005. GLiPHA

Tal i com es pot observar, tant els cavalls com els ases no es destinen a producció de carn per a consum humà. El nombre de porcs és el més baix perquè la majoria d'habitants del país són musulmans (90%) (Taula 3.1). Els residus carnis generats s'han calculat a partir dels percentatges residuals obtinguts de les referències indicades i explicades a l'apartat 4.1 Bibliografia base.

5.1.2 Residus vegetals

Els residus vegetals que s'han considerat són els d'aquells productes que més es conreen o produeixen al país: els de cereals, d'oleaginoses i llegums, d'arrels i tuberculoses, d'oli vegetal, de fruita i hortalisses i de producció de cervesa. A la Taula 5.2 es recullen les dades de producció que s'han emprat.

Taula 5.2 Producció de vegetals per zones (t/any)

Subcategoria	*Producte*	*Central River*	*Lower River*	*North Bank*	*Upper River*	*Western*	*TOTAL*	*Referències*
Cereals	Blat de moro	11.292,8	6.283,1	8.303,2	385,4	3.844,5	30.109,0	FAOSTAT/ Producció
	Sèrgol	8.682,1	4.830,6	6.383,7	296,3	2.955,7	23.148,3	
	Mill	43.545,0	24.227,8	32.017,3	14.85,9	14.824,6	116.100,6	
	Arrós	20.337,5	11.315,5	14.953,6	694,0	6.923,8	54.224,4	
Oleaginoses i llegums	Llegums	937,8	521,8	689,5	32,0	319,3	2.500,3	FAOSTAT/ Producció
	Cacahuet	44.867,2	24.963,4	32.989,5	1.531,1	15.274,7	119.626,0	
	Anacard	1.050,3	584,4	772,2	35,8	357,6	2.800,3	
	Sèsam	1.098,3	611,1	807,5	37,5	373,9	2.928,3	
Arrels i tuberculoses	Cassava	3.938,6	2.191,4	2.895,9	134,4	1.340,9	10.501,1	FAOSTAT/ Producció
Oli vegetal	Oli de palma	873,7	488,4	680,8	624,5	532,6	3.200,0	FAOSTAT/ Producció
Fruites i hortalisses	Fruita	2.869,5	1.596,6	2.109,9	97,9	976,9	7.650,8	FAOSTAT/ Producció
	Hortalisses	4.688,8	2.608,8	3.447,5	160,0	1.596,3	12.501,3	
Cervesa						2.635	2.635	Sustainable Energy for All, 2012

5.1.3 Residus làctics

Per poder calcular els residus que genera aquesta indústria s'han cercat les dades de producció de llet que es mostren a la Taula 5.3.

Taula 5.3 Producció de llet i residus generats

	Producció (t/any)						
Producte	*Central River*	*Lower River*	*North Bank*	*Upper River*	*Western*	*TOTAL*	*Referències*
Llet	1287,4	502,4	1.196,7	1.267,5	5.195,4	9.449,4	FAOSTAT/Producció
Residu	429,1222	167,4642	398,9031	422,511	1.731,81	3.149,8	Gustavsson et al., 2011

5.1.4 Residus de fleca i pastisseria

Tot seguit es recullen les dades de producció d'aliments de fleca i pastisseria a Gàmbia per zones (Taula 5.4).

Taula 5.4 Dades de producció de fleca i pastisseria

	Producció (t/any)						
Subcate-goria	*Central River*	*Lower River*	*North Bank*	*Upper River*	*Western*	*TOTAL*	*Referències*
Fleca	1.767,7	689,8	1.643,2	1.740,4	7.133,8	1.2975	FAOSTAT/ Producció
Pastisseria	69,3	27,1	64,5	68,3	279,9	509	FAOSTAT/ Producció

5.2 Fracció orgánica dels residus municipals

En aquest apartat es mostra la quantitat de residus que es dipositen als abocadors del país, en total 119,5 Gg de residus a l'any, dels quals 39,8 Gg se situen a l'abocador de Banjul i 79,7 Gg a Kanifing.
A la Taula 5.5 s'hi recull la composició dels residus dels abocadors en percentatge de cada tipus de residus.

Taula 5.5 Composició de residus dels abocadors

Materials	*Proporció (%)*	
	Banjul	*Kanifing*
Sorres	48,88	44,18
Vidre	1,48	2,08
Fusta i palla	2,35	0,18
Metalls	1,4	3,1
Cautxú	0	1,6
Altres	2,01	0
Residus orgànics Putrescibles (excloent els aliments)	9,73	10,50
Restes d'aliments	22,71	24,5
Paper i tèxtil	11,44	13,86

Font: Sanneh et. al (2011)

5.3 Aigües residuals

Pel que fa a les aigües residuals domèstiques i comercials els càlculs s'han fet en base a la població del país. Les dades de les que es disposa no es corresponen amb les zones per les que s'han calculat els potencials, pel que posteriorment s'han agrupat en les cinc regions considerades. A la Taula 5.6 es mostren els resultats obtinguts.

Taula 5.6 Aigües residuals domèstiques/comercials

Regió	*Població (milers de persones)*	*Total de les aigües residuals orgàniques domèstiques/comercials (kg DBO/any)*
Banjul	31	422.720
Kanifing	382	5.160.206
Brikama	700	9.449.503
Mansakonko	82	1.112.285
Kerewan	221	2.985.334
Kuntaur	99	1.338.454
Janjanbureh	127	1.713.920
Basse	240	3.240.066
Total	**1.882**	**25.422.487**

Així mateix, els valors de generació d'aigües residuals industrials s'han calculat classificats segons la indústria de la que provenen, per la qual cosa un cop fets els càlculs s'han situat a la regió on es troba la indústria. A la Taula 5.7 es mostren els valors adoptats per a les aigües residuals industrials.

Taula 5.7 Aigües residuals industrials

Alimentació i begudes	*Total producció (t/any)*	*DQO (kg DQO/m^3 aigua res)*	*Generació d'aigües residuals (m^3/tona prod)*	*Total aigua residual Industrial (kg DQO/any)*
Cervesa	2.635	2,9	6,3	48.141
Refrescos	1.240	17	8	168.640
Adoberia	53.426	2,5	9	1.202.085
Peix	46.000	2,5	13	1.495.000
TOTAL				**2.913.866**

6. Emissions actuals de metà a l'atmosfera

S'han estimat les emissions de metà a l'atmosfera per tal de poder valorar la importància de la recuperació del gas, no només de des del punt de vista energètic, sinó també des d'un enfocament mediambiental. Seguint el manual de l'IPCC, per fer els càlculs s'han establert diferents categories segons les fonts d'emissió. En aquest apartat es detallen les quantitats de CH_4 emeses a l'atmosfera anualment.

6.1 Valoració global

A la Taula 6.1 es mostra un resum de les emissions de metà a l'atmosfera de cada sector i com canvien segons les hipòtesis proposades. En total s'emeten a l'atmosfera uns 59,01 Gg CH_4/any. El sector que més emissions genera és el de l'agricultura i la ramaderia.

Taula 6.1 Emissions totals de metà a l'atmosfera

Sector	*Emissions de* CH_4 *(Gg/any)*
Energia	2,91
Agricultura i ramaderia	47,36
Canvi de l'ús de la terra i silvicultura	0,16
Residus	8,58
TOTAL (emissions actuals)	59,01
TOTAL (Hipòtesis 1 i 2: recuperació 50% metà abocadors i aigües)	54,72
TOTAL (Hipòtesi 3: tractament aerobi simple)	56,54
TOTAL (Hipòtesis 1 i 3: recuperació 50% metà abocadors i tractament aerobi simple)	54,55

6.2 Agricultura i ramaderia

En aquest apartat es pretén estimar el gas que s'allibera a l'atmosfera com a conseqüència d'activitats relacionades amb l'agricultura i la ramaderia. S'han tingut en compte per als càlculs la fermentació entèrica, la gestió dels fems, el cultiu d'arrós, la crema prescrita de sabanes i la crema en camp de residus agrícoles.

Tal i com es mostra a la Taula 6.2, en total s'alliberen 47,36 Gg CH_4/any provinents de l'agricultura i la ramaderia, la quantitat més gran de gas prové del cultiu de l'arròs.

Taula 6.2 Emissions de metà a l'atmosfera, agricultura i ramaderia

Categoria	*Quantitat de metà alliberat Gg CH_4/any*
Agricultura i ramaderia (total)	**47,36**
Fermentació entérica	15,85
Gestió dels fems, purins i gallinassa	0,64
Cultiu d'arròs	27,25
Crema prescrita de sabanes	3,29
Crema al camp de residus agrícoles	0,33

6.3 Canvis en l'ús de la terra i silvicultura

Tota crema de biomassa per a l'obtenció d'energia, així com la crema de sabanes i dels residus agrícoles, és una font significativa de CH_4. En aquest apartat s'estimen les emissions de metà procedents de la crema in situ de boscos i praderes. A la Taula 6.3 es mostren els resultats obtinguts, també s'inclouen els Gg de carboni alliberats que posteriorment s'han convertit a CH_4. Tal i com es pot observar la quantitat de metà alliberat no és tan gran com en l'apartat anterior.

Taula 6.3 Emissions de metà a l'atmosfera, canvis en l'ús de la terra i silvicultura

Categoria	*Quantitat de carboni alliberat Gg C/any*	*Quantitat de metà alliberat Gg CH_4/any*
Conversió de boscos i praderes, crema in situ	9,99	0,16

6.4 Energia

En el present apartat es realitzen estimacions de les emissions atenent a la quantitat de combustible utilitzat i al contingut de carboni dels combustibles. Les emissions procedents del sector energètic s'han estimat a partir de la combustió de fuel. Les activitats que contribueixen a les emissions de metà a Gàmbia són les indústries d'energia, les manufactureres i de la construcció i el transport i residencial. A la Taula 6.4 es mostren les quantitats de metà alliberades.

Tal i com es pot observar, el subsector residencial és el màxim productor de CH_4. El fet que les emissions fugitives de combustibles sigui zero es deu a que no hi ha combustible produït a Gàmbia.

Taula 6.4 Emissions de metà a l'atmosfera, energia

Categoria	*Quantitat de metà alliberat Gg CH_4/any*
Energia (total)	**2,9114**
Combustió de fuel	2,9114
Indústries d'energia	0,0022
Indústries manofactureres i de la construcció	0,0001
Transport	0,0179
Residencial	2,8912
Emissions fugitives de combustibles	0,00

6.5 Residus

Els residus domèstics, agrícoles i industrials no són ni gestionats ni separats a Gàmbia. Els residus sòlids es generen a propietats residencials i a serveis de comerç, mercats, àrees d'oci, institucions del govern (escoles i hospitals), indústries, hotels, etc. En aquest apartat es pretén estimar la quantitat de gas metà que s'allibera a l'atmosfera procedent dels residus, es consideren els residus d'abocador i les aigües residuals. S'ha tingut en compte la variació del balanç d'emissions si es desenvolupen les hipòtesis 1, 2 i 3 (sobre com varien les emissions a l'atmosfera en el cas de recuperar el 50% de CH_4 alliberat pels residus i les aigües i en el cas de tractar-les amb un tractament aerobi simple).

En total es dipositen 119,51 Gg de RSU/any als abocadors, a la Taula 6.5 es mostren les emissions procedents d'aquest residus.

Taula 6.5 Emissions de metà a l'atmosfera, residus, abocadors

Emissions de CH_4 procedents dels abocadors	*Recuperació anual de metà (fracció)*	*Total net anual d'emissions de metà (Gg CH_4)*
Emissions CH_4 actuals	0	3,98
Emissions CH_4 hipòtesi 1: recuperació 50% metà	0,5	1,99

A continuació es mostra la quantitat de gas emesa per les aigües residuals i com varia aplicant les hipòtesis (Taula 6.6).

Taula 6.6 Emissions de metà a l'atmosfera, residus, aigües residuals

Emissions netes de metà (Gg CH_4/any)				
Aigües residuals	*TRACTAMENTS ACTUALS*	*RECUPERACIÓ 50%*	*PLANTA DE TRACTAMENT AEROBI*	
			ben gestionada	sobrecarregada
Domèstiques	4,12	2,06	0,00	1,91
Industrials	0,47	0,24	0,00	0,22
TOTAL	4,60	2,30	0,00	2,13

Tal i com es pot observar, les emissions es reduirien a zero si se'ls apliquès un tractament aerobi i una bona gestió, en el cas que fos una planta de tractament aerobi mal gestionada les emissions es reduirien un 46,22%. El total de biogàs generat pels residus és de 8,58 Gg CH_4/any.

7. Potencial de producció de biogàs

En el present apartat s'exposa el potencial energètic disponible i accessible que es podria generar a partir de residus biodegradables a Gàmbia. El potencial s'ha estimat primer per zones i per tipus de residu, que posteriorment s'han agrupat segons la seva naturalesa en: residus de la indústria agroalimentària, FORM i aigües residuals.

7.1 Valoració global

En aquest apartat es recullen els totals estatals de cada grup de residus considerat. S'exposa també quins serien els potencials desenvolupant les hipòtesis proposades.

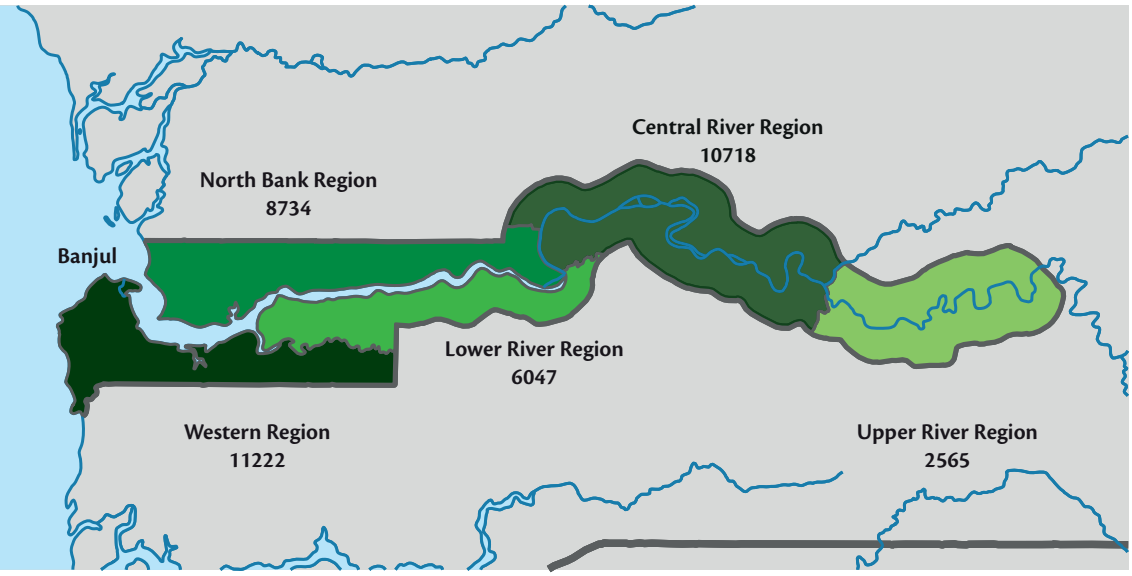
Potencial disponible

A la Taula 7.1 es resumeixen els resultats obtinguts pel que fa al potencial de generació de metà a Gàmbia, als propers subapartats es detallaran aquests resultats. Cal notar que la regió amb més potencial disponible és Western, aquest fet és degut a que és la zona on se situa la capital, les ciutats més grans, hi ha el port principal, la majoria d'indústries i més població per km² (dades a la Figura 3.2 i la Taula 3.2), la resta de regions són més rurals. Els residus que més potencial tenen són els vegetals de la indústria agroalimentària. A destacar també que si s'acomplís la hipòtesi 2 (recuperar el 50% del CH_4 generat actualment per les aigües residuals) el potencial disponible augmentaria en un 7,50%. El potencial disponible total a Gàmbia s'estima en 39308,50 TEP/any. A la Figura 7.1 es mostra gàficament el potencial disponible per regions.

Taula 7.1 Potencial energètic total disponible per zones

Residu	*Unitats*	*Central River*	*Lower River*	*North Bank*	*Upper River*	*Western*	*TOTAL*
Vegetals	Gg CH_4/any	**7,75**	4,32	5,74	0,93	2,90	21,65
	TEP/any	**9.950,75**	5.539,79	7.371,92	1.196,44	3.726,77	27.783,35
Animals	Gg CH_4/any	0,29	0,19	0,52	0,52	**0,89**	2,43
	TEP/any	372,74	249,08	670,72	673,53	**1.146,25**	3.123,84
Làctics	Gg CH_4/any	0,01	0,003	0,01	0,01	**0,03**	0,06
	TEP/any	11,12	4,34	10,33	10,95	**44,86**	81,60
Fleca i pastisseria	Gg CH_4/any	0,26	0,03	0,06	0,06	**0,06**	0,47
	TEP/any	383,86	253,42	681,05	684,48	**1.191,11**	3.205,44
FORM	Gg CH_4/any					**3,98**	3,98
	TEP/any					**5.113,28**	5.113,28
Hipòtesi 2. Aigües residuals	Gg CH_4/any	0,28	0,10	0,27	0,29	**1,36**	2,30
	TEP/any	354,28	129,10	346,50	376,06	**1.744,75**	2.950,68
TOTAL (sense comptabilitzar hipòtesi)	Gg CH_4/any	8,31	4,54	6,34	1,53	**7,88**	28,60
	TEP/any	10.718,47	6.046,62	8.734,01	2.565,40	**11.222,26**	39.308,50
TOTAL (hipòtesi 2)	Gg CH_4/any	8,59	4,64	6,61	1,82	**9,24**	30,90
	TEP/any	11.072,75	6.175,72	9.080,51	2.941,46	**12.967,01**	42.258,19

Figura 7.1 Potencial energètic total disponible per zones (TEP/any).

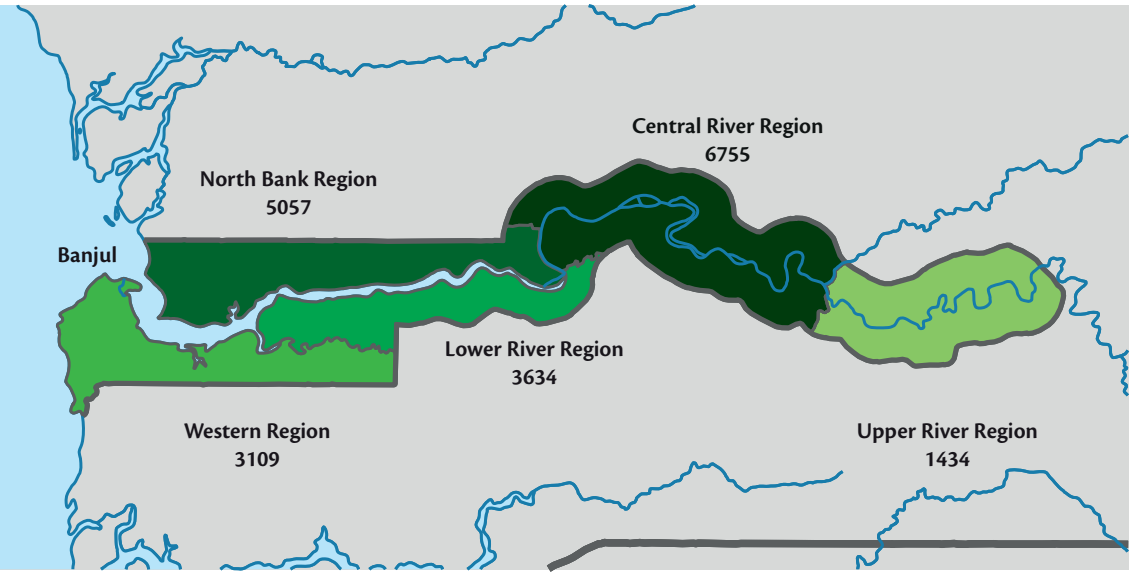


Potencial accessible

A la Taula 7.2 s'exposen els potencials en termes energètics dels residus amb el màxim grau d'interès (accessibles i biodegradables) a Gàmbia. Cal destacar que degut a la situació actual del país ni la FORM ni les aigües residuals són accessibles per a la producció de biogàs; desenvolupant les hipòtesis 1 i 2 es comprova que el potencial accessible augmentaria en un 27,55% si el 50% del metà generat per les aigües i els abocadors es recuperés. Tal i com s'ha explicat a la metodologia, el metà provinent de residus làctics tampoc s'ha comptabilitzat com a potencial accessible. Per tant, la principal font de generació de biogàs actualment són els residus de la indústria agroalimentària. Segons els càlculs realitzats en el present treball, el potencial accessible és un 50,85% del total disponible. En aquest cas, la regió amb major potencial accessible és Central River degut a que hi ha la major quantitat de residus vegetals. A la Figura 7.2 es mostra el potencial accessible per zones.

El potencial accessible total a Gàmbia s'estima en 19.988,22 TEP/any.

Figura 7.2 Potencial energètic total accessible per zones (TEP/any).



Taula 7.2 Potencial energètic total accessible per zones

Residu	*Unitats*	*Central River*	*Lower River*	*North Bank*	*Upper River*	*Western*	*TOTAL*
Vegetals	Gg CH_4/any	**4,88**	2,72	3,63	0,83	1,93	13,99
	TEP/any	**6.266,70**	3.490,04	4.663,15	1.070,73	2.472,56	17.963,18
Animals	Gg CH_4/any	0,13	0,09	0,25	0,23	**0,44**	1,13
	TEP/any	170,19	112,92	314,97	290,02	**559,16**	1447,27
Fleca i pastisseria	Gg CH_4/any	**0,25**	0,02	0,06	0,06	0,06	0,45
	TEP/any	**317,67**	30,72	78,72	73,17	77,50	577,78
Hipòtesi 1. FORM	Gg CH_4/any					**1,99**	1,99
	TEP/any					**2.556,64**	2.556,64
Hipòtesi 2. Aigües residuals	Gg CH_4/any	0,28	0,10	0,27	0,29	**1,36**	2,30
	TEP/any	354,28	129,10	346,50	376,06	**1.744,75**	2.950,68
TOTAL (sense comptabilitzar hipòtesis)	Gg CH_4/any	**5,26**	2,83	3,94	1,12	2,42	15,57
	TEP/any	**6.754,56**	3.633,68	5.056,83	1.433,92	3.109,23	19.988,22
TOTAL (hipòtesis1 i 2)	Gg CH_4/any	5,54	2,93	4,21	1,41	**5,77**	19,86
	TEP/any	7.108,84	3.762,78	5.403,33	1.809,98	**7.410,62**	25.495,54

7.2 Indústria agroalimentària

En aquest apartat es volen estimar els potencials energètics disponibles i accessibles de les diferents classes de residus estudiades de la indústria agroalimentària. A la Taula 7.3 es recullen els resultats obtinguts i la classificació que s'ha fet dels residus.

Taula 7.3 Potencials energètics dels diferents tipus de residus de la indústria alimentària

Tipus de residu	*Potencial disponible TEP/any*	*Potencial accessible TEP/any*
Residus animals	3.123,84	1.447,27
Residus vegetals	27.783,35	17.963,18
Residus làctics	81,60	0,00
Residus de fleca i pastisseria	608,19	577,78

7.2.1 Residus animals

En el present apartat s'analitzen els potencials energètics de les diferents regions a partir de residus d'origen animal: carnis (teixits animals o restes d'escorxador, teixits animals d'aviram), peix, gallinassa, fems i purins.

Potencial disponible

A la Taula 7.4 es mostren dades concretes sobre el potencial disponible per digestió anaeròbia per a cada residu d'aquest subgrup**.** El potencial disponible total d'aquest tipus de residu és de 3.123,84 TEP/any, a destacar que la zona amb més potencial és Western.

Taula 7.4 Potencial energètic disponible per regions, indústria agroalimentària, residus animals.

Residu	*Unitats*	*Central River*	*Lower River*	*North Bank*	*Upper River*	*Western*	*TOTAL*
Càrnics	kg CH_4/any	170.317,35	36.018,65	167.788,50	153.821,51	**257.851,60**	785.797,61
	TEP/any	218,62	46,23	215,37	197,44	**330,97**	1.008,64
Peix	kg CH_4/any	24.105,56	89.391,45	235.330,54	106.466,23	**549.104,59**	1004.398,37
	TEP/any	30,94	114,74	302,07	136,66	**704,82**	1.289,23
Fems	kg CH_4/any	93.877,12	6.6921,84	116.805,09	**263.822,77**	74.053,99	615.480,80
	TEP/any	120,50	85,90	149,93	**338,64**	95,05	790,02
Gallinassa	Kg CH_4/any	1.516,92	1.015,61	1.465,30	613,43	**2.260,75**	15.855,04
	TEP/any	1,95	1,30	1,88	0,79	**2,90**	20,35
Purins	Kg CH_4/any	576,80	699,97	1.146,08	0,00	**9.734,45**	1.2157,30
	TEP/any	0,74	0,90	1,47	0,00	**12,49**	15,60
TOTAL	kg CH_4/any	290.393,75	194.047,52	522.535,51	524.723,93	**893.005,37**	2433.689,11
	TEP/any	372,74	249,08	670,72	673,53	**1146,25**	3123,84

Potencial accessible

Al present estudi, el potencial accessible corresponent als residus de peix i carnis s'ha determinat reduint un 50% el potencial disponible per la impossibilitat de gestionar els residus generats. En el cas dels residus carnis, part dels sacrificis i tractament de la carn es duen a terme a les cases particulars i els residus s'apilen al sòl.

Pel que fa a les dejeccions ramaderes s'han descartat les procedents de sistemes extensius i aquella part dels fems que tot i trobar-se en recintes tancats desprès es llença a les terres de cultiu. Seguint aquest mètode la fracció considerada accessible és 0,167. Tal i com s'observa a la Taula 7.5 el potencial de producció de biogàs a partir de purins a la regió Upper River és zero, aquest fet es deu a que en aquesta zona no hi ha porcs segons les dades del Global Livestok and Health Production Atlas (FAO).

El potencial accessible total procedent de residus animals és de 1.447,27 TEP/any, la zona amb el potencial més alt és Western.

Taula 7.5 Potencial energètic accessible per regions, indústria agroalimentària, residus animals.

Residus	*Unitats*	*Central River*	*Lower River*	*North Bank*	*Upper River*	*Western*	*TOTAL*
Càrnics	Kg CH_4/any	85.158,68	18.009,32	83.894,25	76.910,75	**128.925,80**	392.898,80
	TEP/any	109,31	23,12	107,69	98,72	**165,49**	504,32
Peix	kg CH_4/any	12.052,78	44.695,73	117.665,27	53.233,11	**274.552,29**	502.199,18
	TEP/any	15,47	57,37	151,03	68,33	**352,41**	644,61
Fems	kg CH_4/any	33.907,45	24.171,48	42.188,80	**95.290,07**	26.747,54	222.305,32
	TEP/any	43,52	31,03	54,15	**122,31**	34,33	285,35
Gallinassa	Kg CH_4/any	1.264,10	846,34	1.221,08	511,19	**1.883,96**	5.726,68
	TEP/any	1,62	1,09	1,57	0,66	**2,42**	7,35
Purins	Kg CH_4/any	208,33	252,82	413,95	0,00	**3.515,98**	4.391,09
	TEP/any	0,27	0,32	0,53	0,00	**4,51**	5,64
TOTAL	kg CH_4/any	132.591,34	87.975,69	245.383,35	225.945,13	**435.625,57**	1127.521,08
	TEP/any	170,19	112,92	314,97	290,02	**559,16**	1.447,27

7.2.2 Residus vegetals

En aquest apartat s'analitzen els potencials energètics de les diferents regions a partir dels residus considerats d'origen vegetal més generats pel país estudiat. A la Taula 4.10 s'exposen les categories de residus que s'han tingut en compte i quins residus les formen. El potencial disponible d'aquests residus és de 27.783,35 TEP/any i l'accessible de 17.963,18 TEP/any.

Potencial disponible

Els valors obtinguts per al potencial de generació de biogàs pels residus vegetals s'exposen a la Taula 7.6. La regió Central River és la que té més potencial seguida de North Bank, ja que són zones amb cultius agrícoles abundants. El residu amb menys potencial és el de cervesa degut a la baixa producció d'aquesta beguda al país.

Potencial accessible

Per calcular el potencial accessible dels residus de cultius agrícoles s'ha tingut en compte que un 30% d'aquests es cremen als camps i que, aproximadament, un 30% dels residus de cereals es destinen a l'alimentació animal (tenint en compte que la majoria de temps el bestiar està pasturant i per tant no és alimentat per l'home sinó que menja el que troba als camps).

Tant els residus de fruites i hortalisses com els de cervesa i olis vegetals es consideren accessibles ja que com a forma de tractament s'aboquen directament sobre el terreny. Els resultats es recullen a la Taula 7.7. La regió amb major potencial accessible és Central River.

Taula 7.6 Potencial energètic disponible per regions, indústria agroalimentària, residus vegetals

Residu	Unitats	Central River	Lower River	North Bank	Upper River	Western	TOTAL
Fruites i hortalisses	Gg CH_4/any	**0,23**	0,13	0,17	0,01	0,08	0,62
	TEP/any	**296,55**	164,99	218,04	10,12	100,96	790,58
Cereals	Gg CH_4/any	**4,54**	2,53	3,34	0,15	1,55	12,10
	TEP/any	**5.827,05**	3.242,09	4.284,46	198,84	1.983,78	15.534,67
Arrels i tuberculoses	Gg CH_4/any	**0,06**	0,03	0,04	0,00	0,02	0,16
	TEP/any	**78,26**	43,54	57,54	2,67	26,64	208,63
Oli vegetal	Gg CH_4/any	**0,98**	0,55	0,76	0,70	0,60	3,59
	TEP/any	**1.258,75**	703,69	980,95	899,84	767,30	4.610,52
Cervesa	Gg CH_4/any					**0,00027**	0,00027
	TEP/any					**0,35**	0,35
Oleaginoses i llegums	Gg CH_4/any	**1,94**	1,08	1,43	0,07	0,66	5,17
	TEP/any	**2.490,14**	1.385,48	1.830,93	84,97	847,75	6.638,60
TOTAL	Gg CH_4/any	**7,75**	4,32	5,74	0,93	2,90	21,65
	TEP/any	**9.950,75**	5.539,79	7.371,92	1.196,44	3.726,77	27.783,35

Taula 7.7 Potencial energètic accessible per regions, indústria agroalimentària, residus vegetals

Residu	Unitats	Central River	Lower River	North Bank	Upper River	Western	TOTAL
Fruites i hortalisses	Gg CH_4/any	**0,23**	0,13	0,17	0,01	0,08	0,62
	TEP/any	**296,55**	164,99	218,04	10,12	100,96	790,66
Cereals	Gg CH_4/any	**2,27**	1,26	1,67	0,08	0,77	6,05
	TEP/any	**2.913,53**	1.621,04	2.142,23	99,42	991,89	7.768,11
Arrels i tuberculoses	Gg CH_4/any	**0,04**	0,02	0,03	0,00	0,01	0,11
	TEP/any	**54,78**	30,48	40,28	1,87	18,65	146,05
Oli vegetal	Gg CH_4/any	**0,98**	0,55	0,76	0,70	0,60	3,59
	TEP/any	**1.258,75**	703,69	980,95	899,84	767,30	4.610,52
Cervesa	Gg CH_4/any					**0,0003**	0,0003
	TEP/any					**0,35**	0,35
Oleaginoses i llegums	Gg CH_4/any	1,36	0,76	1,00	0,05	0,46	3,62
	TEP/any	1.743,10	969,83	1.281,65	59,48	593,42	4.647,49
TOTAL	Gg CH_4/any	**4,88**	2,72	3,63	0,83	1,93	13,99
	TEP/any	**6.266,70**	3.490,04	4.663,15	1.070,73	2.472,56	17.963,18

7.2.3 Residus làctics

Potencial disponible

Gàmbia no compta amb una indústria desenvolupada per a la producció de làctics; només es produeix llet. El consum de llet està força limitat a aquelles famílies que posseeixen bestiar lleter (vaques o cabres), els residus que es poden generar i la llet que ja no és apte per al consum no queda recollida en una zona concreta. Per tant, la recollida i transport del residu de la llet resulta gairebé impossible, fet pel qual s'ha considerat que cap part del potencial disponible dels residus làctics és accessible. A la Taula 7.8 es mostren els potencials disponibles calculats per als residus de llet, obtenint un total de 81,60 TEP/any .

Taula 7.8 Potencial energètic disponible per regions, indústria agroalimentària, residus làctics

Residu	*Unitats*	*Central River*	*Lower River*	*North Bank*	*Upper River*	*Western*	*TOTAL*
Làctics	kg CH_4/any	8.660,38	3.379,70	8.050,51	8.526,95	**34.950,72**	63.568,26
	TEP/any	11,12	4,34	10,33	10,95	**44,86**	81,60

7.2.4 Residus de fleca i pastisseria

Els residus que s'han tingut en compte per calcular el potencial energètic d'aquesta categoria han estat els residus de pa i els de pastisseria. Aquesta categoria no es divideix en més subcategories ja que les dades de producció de les que es disposa engloben tots els productes d'aquest sector.

Potencial disponible

A la Taula 7.9 s'exposen els resultats obtinguts pel que fa al potencial disponible dels residus de fleca i pastisseria, la regió amb major potencial és Western, ja que s'hi produeix més quantitat de pa que a la resta de zones, menys poblades. El potencial total disponible és de 608,19 TEP/any.

Taula 7.9 Potencial energètic disponible per regions, indústria agroalimentària, residus de fleca i pastisseria

Residus	*Unitats*	*Central River*	*Lower River*	*North Bank*	*Upper River*	*Western*	*TOTAL*
Fleca	kg CH_4/any	61.457,81	23.983,81	57.129,91	60.510,97	**248.025,46**	451108
	TEP/any	78,89	30,79	73,33	77,67	**318,36**	579,03
Pastisseria	kg CH_4/any	3.094,31	1.207,55	2.876,40	3.046,64	**12.487,70**	22.712,60
	TEP/any	3,97	1,55	3,69	3,91	**16,03**	29,15
TOTAL	kg CH_4/any	64.552,12	25.191,36	60.006,32	63.557,61	**260.513,16**	473.820,57
	TEP/any	82,86	32,34	77,02	81,58	**334,39**	608,19

Potencial accessible

A diferència de la llet, el pa sí que es produeix en emplaçaments especialitzats, per això la recollida i en algun cas transport d'aquests residus no seria tan complicada. Els productes caducats, o les pèrdues i residus generats durant el consum a les llars es consideren per al càlcul del potencial disponible però no per a l'accessible. Així doncs, els residus que es classifiquen com a accessibles corresponen a restes del procés de producció. Segons el document "Food losses and food waste" (FAO), els residus generats durant consum (per tant no accessibles) de fleca i pastisseria a Gàmbia corresponen a un 5%. A la Taula 7.10 es mostra el potencial accessible per a aquest tipus de residus, amb un potencial accessible total de 577,78 TEP/any.

Taula 7.10 Potencial energètic accessible per regions, indústria agroalimentària, residus de fleca i pastisseria

Residus	*Unitats*	*Central River*	*Lower River*	*North Bank*	*Upper River*	*Western*	*TOTAL*
Fleca	kg CH_4/any	58.384,92	22.784,62	54.273,42	57.485,42	**235.624,19**	428.552,57
	TEP/any	74,94	29,25	69,66	73,79	**302,44**	550,08
Pastisseria	kg CH_4/any	2.939,59	1.147,17	2.732,58	2.894,30	**11.863,32**	21.576,97
	TEP/any	3,77	1,47	3,51	3,72	**15,23**	27,70
TOTAL	kg CH_4/any	61.324,52	23.931,79	57.006,00	60.379,73	**247.487,51**	450.129,54
	TEP/any	78,72	30,72	73,17	77,50	**317,67**	577,78

7.3 Fracció orgànica dels residus municipals

La quantitat de residus sòlids urbans (RSU) que arriben als abocadors és de 119,51 Gg/any, dels quals entre un 32 i un 35%, depenent de l'abocador, són orgànics (Sanneh et al., 2011). El fet de no comptar ni amb una gestió ni amb tecnologia adequada de tractament de RSU limita el potencial de producció de metà. Als països desenvolupats, la FORM obtinguda a través de separació domiciliària presenta potencials elevats de producció de biogàs (Hartmann, 2003). Convé destacar que la digestió anaeròbia de la FORM dóna lloc a un balanç en l'emissió de GEH millor que d'altres sistemes de tractament de residus municipals (Baldasano i Soriano, 2000). A Gàmbia no es fa recollida dels RSU ni tampoc se separen, gran part dels residus generats queden dipositats als carrers o són cremats sense cap gestió ni organització, és per això que en aquest estudi s'han tingut en compte només aquells residus que arriben als abocadors. Els dos abocadors que actualment hi ha a Gàmbia es troben a Kanifing i a Banjul, ambdues ciutats a la regió Western.

Potencial disponible

A continuació es mostra el potencial disponible de la FORM (Taula 7.11), tal i com es pot observar el potencial d'aquest tipus de residu es redueix a la regió Western. El potencial total disponible originat per la FORM és de 5.113,28 TEP/any, aquesta quantitat representa un 12,10% del potencial disponible total.

Taula 7.11 Potencial energètic disponible, FORM

Abocador	*Unitats*	*Western*
Banjul	Gg CH_4/any	1,27
	TEP/any	1.628,72
Kanifing	Gg CH_4/any	2,71
	TEP/any	3.484,56
TOTAL	Gg CH_4/any	3,98
	TEP/any	5.113,28

Potencial accessible

Considerant que el potencial disponible procedent FORM representa un 12,10% del potencial disponible total i acceptant que cap part d'aquest potencial és accessible, es desenvolupa la hipòtesi 1: la meitat del metà que s'emet actualment és recuperat. El potencial accessible si es recupera el 50% de CH_4 s'exposa a la Taula 7.12.

A l'apartat d'emissions actuals a l'atmosfera es resumeix com afectaria el fet de recuperar aquest gas al balanç total d'emissions del país.

Taula 7.12 Potencial energètic accessible, Hipòtesi 1: recuperació del 50% del metà generat, FORM

Abocador	*Unitats*	*Western*
Banjul	Gg CH_4/any	0,63
	TEP/any	814,36
Kanifing	Gg CH_4/any	1,36
	TEP/any	1.742,28
TOTAL	Gg CH_4/any	1,99
	TEP/any	2.556,64

7.4 Aigües residuals

A Gàmbia el potencial de generació de biogàs de les aigües residuals no s'aprofita ja que actualment no es tracten adequadament. És per això que es calcula com repercutiria en el balanç del país que un 50% del metà que emeten actualment les aigües residuals es recuperés (hipòtesi 2). El potencial accessible per zones seria el que es mostra a la Taula 7.13, en total 2.950,68 TEP/any. S'han tingut en compte les aigües residuals industrials generades pels sectors següents: producció de cervesa, refrescos, adoberia i peix. Els càlculs s'han fet sabent que les aigües residuals industrials s'aboquen a les mateixes vies que les domèstiques.

Les emissions a l'atmosfera que s'emetrien en aquest cas, serien menors que si no es recuperés el metà, s'exposen els resultats numèrics a l'apartat 6.

Taula 7.13 Potencial energètic, Hipòtesi 2: recuperació del 50% del metà generat, Aigües residuals

Aigües residuals	*Unitats*	*Central River*	*Lower River*	*North Bank*	*Upper River*	*Western*	*TOTAL*
Domèstiques	kg CH_4/any	247.623,77	90.234,15	242.185,24	262.850,32	**1219.505,80**	2062.399,28
	TEP/any	317,85	115,82	310,86	337,39	**1.565,34**	2.647,26
Industrials	kg CH_4/any	28.382,06	10.342,43	27.758,71	30.127,29	**139.776,92**	236.387,42
	TEP/any	36,43	13,28	35,63	38,67	**179,42**	303,42
Total	kg CH_4/any	276.005,83	100.576,57	269.943,95	292.977,61	**1359.282,73**	2298.786,69
	TEP/any	354,28	129,10	346,50	376,06	**1.744,75**	2.950,68

7.5 Implicacions energètiques i ambientals

Si s'aprofitès tot el potencial accessibe, l'estalvi d'energia seria de 25,49 KTEP/any, un 17% del total del consum d'energia del país.

Així mateix, representaria una reducció d'emissions de metà a l'atmosfera de 4.290 t CH_4/any, i un equivalent de 106.913,9 t CO_2eq. És a dir, la reducció d'emissions seria d'un 8,63%, percentatge que podria augmentar si es desenvolupèssin un conjunt de bones pràctiques en les activitats dels diferents sectors.

8. Recomanacions d'accions a emprendre

En aquest apartat es proposen possibles accions a emprendre per millorar alguns aspectes de la política de gestió de residus del país. Aquestes es dividiran en accions genèriques o bones pràctiques (que deriven de l'estudi previ de la situació actual de Gàmbia) i en accions a emprendre per a la màxima realització del potencial.

8.1 Accions genèriques

A continuació es resumeixen les bones pràctiques més rellevants que es podrien dur a terme, distingint-les per sectors.

8.1.1 Agricultura i ramaderia

Les accions recomanades que es creuen prioritàries i que afavoririen el sector són: la recuperació del metà dels escorxadors i granges periurbanes, el reciclatge de residus per a la producció agrícola a través de compostatge, la gestió eficient del sòl i l'aigua, la implantació de sistemes de reg durant l'estació seca i de sistemes senzills per extreure sal de l'aigua del riu i utilitzar-la pel reg (per exemple per evaporació) (Figura 8.1).

Igualment, seria útil promoure i fomentar noves estratègies de pasturatge així com millorar les tècniques de conservació dels aliments.

Figura 8.1 Sistema simple de reg per evaporació d'aigua salada.

Font: ecoinventos.com (2015)

8.1.2 Pesca

Es creu que cal la realització d'un pla que inclogui els següents objectius:

Imposar mesures de control per als vaixells de pesca d'extracció massiva, promoure l'aqüicultura, modificar i enfortir les polítiques i les institucions de gestió de la pesca, promoure la conservació de la pesca i l'educació ambiental, millorar les tècniques de transformació del peix per a reduir les pèrdues, fer servir el peix com a mitjà per millorar els nivells de nutrició de la població, desenvolupar i ampliar la pesca artesanal i augmentar la participació de la dona al sector pesquer, augmentar les oportunitats de treball, millorar l'entorn econòmic de la pesca per tal que la indústria pesquera contribueixi a l'economia nacional.

8.1.3 Sector forestal i zones humides

Cal dur a terme una sèrie d'accions per optimitzar el sector establint zones protegides: plantacions, parcs nacionals i àrees d'interés natural. Es considera important la reforestació de paisatges amb zones forestals fragmentades, canviar dels productes energètics basats en combustibles fòssils a d'altres basats en la biomassa, la creació de bancs de llavors i la promoció de pràctiques de gestió eficaces.

8.1.4 Sector energètic

La promoció i l'ús d'energies renovables és una bona opció per minimitzar les emissions de gasos d'efecte hivernacle i millorar la salut de la població. Seria òptim substituir la llenya i el carbó vegetal com a font de subministrament d'energia domèstica.

La revitalització i la promoció del transport fluvial és una acció que no només beneficiaria el sector energètic sinó que també seria útil per al transport de mercaderies i per al desplaçament dels habitants del país. Actualment només es pot travessar el riu amb ferri per la zona de Banjul i es poden arribar a trigar dos dies per aconseguir pujar-hi. Caldria recuperar un ferri que seguís el recorregut al llarg del riu i introduir la navegació a vela per minimitzar les emissions del combustible de vaixells amb motor.

8.1.5 Gestió de residus

És necessari desenvolupar una estratègia sòlida de gestió de residus a Gàmbia, que tingui en compte l'administració i la gestió dels abocadors, alternatives de gestió de residus, la conscienciació i educació de la població, el tractament d'aigües residuals i la recuperació i utilització de metà a partir de la digestió anaeròbia d'aigües residuals o llots.

8.1.6 Recursos hídrics

Tenint en compte la situació actual a Gàmbia s'han considerat necessàries les accions següents: regulació de l'extracció d'aigua dolça des del riu per mantenir el delicat equilibri entre el curs del riu i la intrusió salina, introducció de mesures legislatives com la concessió de llicències i permisos per a la retirada d'aigua del riu per a reg.

Cal també la introducció i foment dels sistemes de reg més eficients (com per exemple l'aspersió i per degoteig) i seria útil promoure la captació d'aigua de pluja.

8.1.7 Temes transversals

Es considera que cal una conscienciació i educació de la població pel que fa als temes ambientals i de bones pràctiques. Per fer-ho es poden utilitzar mitjans de comunicació com la televisió, ràdio, mitjans impresos, etc. Calen campanyes ben dissenyades destinades a la millora de la consciència social, desenvolupar materials educatius i de sensibilització per augmentar la consciència pública sobre el canvi climàtic i les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

Seria útil dur a terme reformes institucionals i la integració del canvi climàtic en els programes nacionals de desenvolupament de Gàmbia, reemplaçar i millorar l'equipament hidrològic i meteorològic i facilitar les eines per a la creació d'oficis i llocs de treball a les zones rurals per evitar la urbanització.

El desenvolupament comunitari promogut especialment per organitzacions no governamentals és clau per implementar totes les propostes anteriors. L'estructura social en comunitats (terres comunes, pous compartits, etc.) és una oportunitat que permetria la gestió directa d'actuacions locals així com la permanència de les accions, l'arrelament en el territori, l'aprenentatge de noves tècniques, la creació de llocs de treball, etc.

8.2 Accions a emprendre per a la màxima realització del potencial

En base als potencials energètics obtinguts, es creu que la zona geogràfica on cal emprendre les accions referents al tractament de residus de forma prioritària és la regió de Western, ja que és la que té més potencial. A més s'hi situen les ciutats més grans, hi ha més habitants i, per tant, es generen més residus. Es creu que és on les accions poden tenir més efectes multiplicadors. En canvi, les accions enfocades a l'agricultura s'haurien d'aplicar a Central River, ja que és la regió capdaventera en producció de vegetals.

8.2.1 Residus sòlids i aigües residuals urbanes

La gestió dels residus és un sector molt important per a la gestió del medi ambient a Gàmbia. La seva implicació en relació a la salut i el medi és vital per al desenvolupament nacional. Actualment hi ha un increment de generació de residus degut al creixement de la urbanització i de població. La proliferació d'abocadors il·legals és una pràctica comú a l'àrea de Banjul. S'han d'emprendre accions per a millorar la gestió dels abocadors, evitar la crema de residus i sanejar el sistema en general de tractament d'aigües residuals i residus sòlids.

Creació de microempreses per gestionar els residus

La creació de dites empreses generaria nous llocs de treball, serien gestionades per habitants de les mateixes ciutats i s'evitaria la importació d'adobs (fets per compostatge de la MO a les mateixes empreses), fets que millorarien l'economia del país. S'encarregarien també de recollir i separar els residus a zones rurals o petites ciutats -que actualment no tenen un sistema habilitat- mitjançant sistemes senzills (com pot ser un simple tricicle). El que es vol aconseguir és: construcció de ciutadania ambiental a través de processos d'educació i comunicació, inclusió econòmica i social dels habitants dels voltants dels abocadors en la gestió integral dels residus sòlids, ús de tecnologies netes, de baix cost i contextualitzades culturalment, disseny de polítiques públiques i enfortiment de les cadenes productives del reciclatge. Aquesta proposta està basada en el projecte "Ciudad Saludable", que aplica amb èxit sistemes semblants a sud Amèrica, especialment al Perú (Ciudad Saludable, 2012).

Adequar els abocadors actuals

Els abocadors de Gàmbia són no controlats, fet que els converteix en poc adequats per la salut i el medi ambient. Cal transformar els dipòsits de residus presents en espais on els residus es puguin dipositar de manera que no siguin font de contaminació de l'entorn. Els residus s'han de col·locar sobre un

terreny prèviament impermeabilitzat, estenent-los i compactant-los. La colgada amb terra n'elimina les males olors, els problemes sanitaris i permet confinar-los correctament. Per evitar la crema incontrolada i l'entrada d'animals cal una tanca que encercli el dipòsit. Cal que la ubicació del dipòsit sigui de fàcil accés i que l'impacte sobre el medi sigui mínim. Seria òptim recollir els lixiviats en basses i proveir el dipòsit d'una xarxa de drenatge de gasos per a poder-los recuperar i aprofitar.

Implantació d'un pla de sanejament del sistema de tractament de les aigües residuals

Amb els problemes de sanejament i els pocs recursos que hi ha a Gàmbia es requereixen plantes de tractament d'aigües residuals apropiades i sostenibles, donat que el país té una temperatura tropical, la digestió anaeròbia és una tecnologia clau.

A la majoria dels països de clima tropical i subtropical, a causa de les condicions climàtiques favorables, hi ha força interès en la utilització de tecnologies com reactors anaerobis, configuració que es fa servir sola o seguida d'algun sistema de post tractament.

En comparació als tancs sèptics i les llacunes anaeròbies, el temps de retenció hidràulica -TRH- del reactor UASB és molt menor i la producció de males olors pot ser controlada de manera més senzilla; a més, presenta major eficiència que el tanc sèptic. Se n'explica el funcionament concret a l'apartat "2.4 Digestió anaeròbia aplicada al tractament d'aigües residuals a zones tropicals".

8.2.2 Sector energètic

Incrementar la producció d'energia a partir de fonts renovables (solar i eòlica)

A Gàmbia l'electricitat es genera utilitzant combustibles, en aquest procés s'alliberen 2,91 Gg CH_4/any, juntament amb altres gasos d'efecte hivernacle. A més, els combustibles fòssils són importats i força cars. Actualment l'ús d'energia renovable és baix degut als alts costos inicials. Aquesta proposta permetria l'accés a l'electricitat a zones rurals. Es proposa instal·lar plaques solars a les viles rurals sense accés a l'electricitat.

8.2.3 Agricultura i ramaderia

Programació d'un pla de modernització de les granges

El sector ramader té un gran potencial pel que fa a activitats de desenvolupament i diversificació com ara el processat de la llet, mantega, etc. A Gàmbia la producció ramadera és majoritàriament extensiva, sistema que comporta que els animals recorrin llargues distàncies a la recerca d'aliment, provocant que estiguin exposats a diversos perills. Les terres de pastura són comunitàries i tenen poc o gens farratge durant la llarga estació seca, moment en què la vegetació es perd com a conseqüència dels incendis forestals. És degut a aquest fet que la productivitat animal es redueix dràsticament i es tradueix en fam i malalties que poden ser abordades amb la intervenció proposada.

A més, tenir els animals en pastura impossibilita l'emmagatzematge dels fems i purins i redueix el potencial accessible de producció de biogàs, pot crear problemes sanitaris i incrementa les emissions de metà a l'atmosfera. El pla ha de contemplar promoure tècniques de cria de bestiar en estabulació

tancada, així com l'emmagatzematge de les dejeccions. L'aplicació d'aquest pla també suposaria una millora de la salut dels animals així com el màxim aprofitament dels productes alimentaris que en provenen i milloraria la supervivència. Per exemple, al poble de Jirong la *Fundació Kalilu Jammeh* ha aconseguit reduir la mortalitat dels animals instal·lant tancats simples (Figura 8.2).

Figura 8.2 Galliner instal·lat a Jirong.

Font: Fundació Kalilu Jammeh (2015)

Instal·lar digestors de baix cost a les zones rurals pel tractament de dejeccions ramaderes

Els digestors de baix cost es consideren una tecnologia apropiada que ajuda a expandir l'energia del biogàs als països en desenvolupament. Durant les últimes dècades s'han instal·lat exitosament a les zones rurals d'Àsia i Amèrica Llatina. Experiències prèvies han mostrat que aquest tipus de digestors milloren la qualitat de vida de les famílies rurals, provenint biogàs per a la cuina i la llum (Bhattacharya i Salam, 2002).

A països tropicals com Taiwan, Colòmbia i Costa Rica els digestors tubulars de polietilè i PVC s'han instal·lat amb èxit degut a la fàcil implementació i maneig i el seu baix cost. Aquests digestors poden produir entre 0,1-0,32 m^3 de biogàs per m^3 de digestor i per dia (Lansing et al., 2008).

Tecnologias en Desarrollo (TED) i *Tecatelma* han concebut un sistema de digestió anaeròbia que extreu gas dels fems i de les dejeccions humanes i es connecta de manera senzilla fins a la cuina mitjançant canonades (Campero, 2009). Aquest sistema s'ha instal·lat amb molt d'èxit a varies poblacions de Bolívia. Per a suplir la falta de clavegueram a les àrees rurals i eliminar la contaminació per gasos de les latrines, la canonada del vàter també pot ser connectada a un digestor de manera que s'eliminen els residus humans que poden ser un focus infecciós.

Aquests sistemes han d'estar a una distància de 50 metres de les vivendes i cal evitar que hi hagi arbres a prop perquè no es perfori el tanc amb les arrels. Cada digestor podria cobrir les necessitats de varies famílies, ja que a Gàmbia viuen en comunitats. Actualment aquests digestors poden costar entre 210 i 800€. A més, han ideat la preparació d'un "kit" que inclou manual i materials per a fabricar el sistema.

8. Conclusions

Pel que fa a l'estimació de les emissions de metà a l'atmosfera a Gàmbia s'ha obtingut com a resultat que s'alliberen 59 Gg CH_4/any, és a dir 1239,21 Gg CO_2eq/any. Els sectors que més metà emeten són l'agricultura i la ramaderia (47,36 Gg CH_4/any).

Per dur a terme l'avaluació del potencial energètic, feta en base als residus biodegradables de Gàmbia, s'ha tingut en compte el potencial disponible i el potencial accessible. L'estimació del potencial disponible implica quantificar els residus biodegradables totals del país que podrien ser utilitzats per produir biogàs, tot i que poden tenir altres formes de tractament o esdevenir subproductes amb altres usos. El potencial disponible que s'ha obtingut és de 39.309 TEP/any.

Es defineix com a potencial accessible aquella part del potencial disponible generada per residus que poden ser objecte de gestió (recollida, transport o emmagatzematge) quan tractar-los mitjançant digestió anaeròbia es considera una opció de valorització competitiva. El valor obtingut per al potencial accessible se situa en uns 19.988 TEP/any, un 13,32% de la despesa d'energia al país.

Pel que fa a la distribució geogràfica, la regió amb més potencial disponible és Western seguida de Central River que arriben a 11.222 i 10.719 TEP/any respectivament. En canvi, les regions on el potencial accessible és major són Central River (6.755 TEP/any) i North Bank (5.057 TEP/any). Aquests resultats responen al fet que Central River és la regió on hi ha més producció agrícola. D'altra banda a la regió Western hi ha la capital i el port, també és on hi ha més densitat de població, més indústria i on es generen més residus urbans (els dos abocadors habilitats estan en aquesta zona) i aigües residuals, és per això que es consideren les zones prioritàries a l'hora d'emprendre accions.

A Gàmbia el sector que més residus genera és la indústria agroalimentària, en concret els residus vegetals encapçalen la llista, el total generat són 457.825,5 t de residus vegetals a l'any, que generen un potencial disponible de 27.783,4 TEP/any i un potencial accessible de 17.963,2 TEP/any. Els residus animals tenen un potencial disponible de 3.123,8 TEP/any del qual 1.447,3 TEP/any són accessibles. Als abocadors hi van a parar 119,51 Gg de residus municipals a l'any, la fracció orgànica d'aquests residus té un potencial disponible de 5.113,3 TEP/any.

Tant les aigües residuals com la FORM serien una font de biogàs si rebessin algun tipus de tractament. De les hipòtesis plantejades s'han extret les següents conclusions:

- Pel que fa als residus sòlids urbans, s'ha estimat que alliberen 3,98 Gg CH_4/any, que decreixerien fins a la meitat si es recuperés el 50% d'aquest metà (hipòtesi 1) i el potencial d'energia disponible seria de 42.258 TEP/any.
- En referència a la hipòtesi 2, s'ha estimat que si el 50% del metà que emeten les aigües residuals es recuperés tindrien un potencial de 2.951 TEP/any i emetrien la meitat de metà a l'atmosfera (2,30 Gg CH_4/any).

- Pel que fa a la hipòtesi 3, si les aigües es tractessin amb un sistema aerobi simple el metà que emeten actualment (4,60 Gg de metà/any) disminuiria a 2,13 Gg CH_4/any i no alliberarien metà si se'ls apliquès dit tractament ben gestionat.

En resum, el potencial accessible augmentaria fins a 25.496 TEP/any (un 27,55%) si el 50% del metà generat per les aigües i els abocadors es recuperés. Aquest potencial és un 17% del total del consum d'energia del país. La reducció d'emissions de metà a l'atmosfera seria de 4,29 Gg CH_4/any, equivalent a 106.913,9 t CO_2eq/any: les emissions es reduirien un 8,63% .

Per tant és recomanable realitzar un sanejament del sistema de gestió de les aigües residuals i dels residus sòlids urbans per a poder tractar-los per digestió anaeròbia. A més, degut a la temperatura del país es podria realitzar el tractament sense necessitat d'escalfar el digestor (tal i com s'explica a l'apartat de digestió anaeròbia d'aigües residuals a zones tropicals).

El fet de tractar els residus per digestió anaeròbia no només disminuiria el metà que actualment s'emet a l'atmosfera sinó que també causaria una baixada d'altres gasos d'efecte hivernacle emesos per l'ús de combustibles fòssils, que serien substituïts pel biogàs.

S'espera que la informació aportada pugui ser útil a efectes de planificació del país.

9. Bibliografia

Access Gambia. *The Gambia, 2009.* [en línia] disponible a: http://www.accessgambia.com [últim accès: 17/05/2015]

Agencia Andaluza de la Energía, Consejería de economía, innovación y ciencia, 2011. *Estudio básico del biogás.* [en línia] disponible a: https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/estudio_basico_del_biogas_0.pdf [últim accès: 25/06/2015]

AINIA instituto tecnologico agroalimentario, 1996. *Mejores técnicas disponibles en el sector cervecero.* [en línia] disponible a: http://www.prtr-es.es/data/images/La%20industria%20cervecera-74F8271308C1B002.pdf [últim accès: 12/07/2015]

Al Seadi, T., *Good Practice in Quality Management of AD Residues from Biogas Production.* Energy from Biological Conversion of Organic Waste. IEA Bioenergy. [en línia] disponible a: www.iea-biogas.net/Dokumente/managementpaw3.PDF [últim accès 22/06/2015]

Alemany, J., Balaguer, D., Bonmatí, A., Colprim, J., Comas, J., Martín, MJ., Poch, M., Rigola, M., Ros, A., Turon, C., Rodríguez, I., 2011 (Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental, Universitat de Girona). *Aigues residuals, tecnologies de tractament*. [en línia] disponible a: http://www3.udg.edu/publicacions/vell/electroniques/gestio_aigues_residuals/pag/capitol3.htm#OLE_35tractaments_biologic_fixat [últim accès: 17/09/2015].

Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Machmüller, A., Hopfner-sixt, K., Bodiroza, V., Hrbek, R., Friedel, J., Pötsch, E., Wagentristl, H., Schreiner, M., Zollitsch, W., 2007. *Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations.* Bioresource Technology 98, pp 3204–3212.

AquaSTAT, FAO, 2005. *Water use.* [en línia] disponible a: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/GMB/GMB-CP_eng.pdf [últim accès: 18/05/2015]

AquaSTAT, UN-WATER *Country Brief the Gambia,* 2014. [en línia] disponible a: http://www.unwater.org/fileadmin/user_upload/unwater_new/docs/Publications/GMB_pagebypage.pdf [últim accès: 03/06/2015]

Baldasano, J., Soriano, C., 2000. *Emission of greenhouse gases from anaerobic digestion processes: comparison with other municipal solid waste treatment.* Water Science and Technology 41, pp. 275-282.

Bhattacharya, S., Salam, P., 2002. *Low greenhouse gas biomass options for cooking in the developing countries.* Biomass Bioenergy 22, pp. 305–317.

Bingemer, G. i Crutzen, P., 1987. *The production of methane from solid wastes*. Journal of Geophysical Research 92, pp.2181-2187.

Bouallagui, H., Cheikh, R., Hamdi, M., Touhami, Y., 2005. *Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes.* Process Biochemistry 40, pp. 989-995.

Bradler, J., 2008. *Generación y uso del biogàs: una alternativa de eficiencia energética*. Seminari EXPOQUIM. [en línia] disponible a: www.asdconsultores.cl/docs/generacionyusodelbiogas.pps [últim accés: 07/09/2015]

Brissaud, F., 1999. *La depuració de les aigües residuals urbanes per infiltració-percolació*. Recursos d'aigua. Universitat de Barcelona, Barcelona, pp. 222-240.

Buswell, A., Mueller, H., 1952 *Mechanism of methane fermentation.* Industrial and Engineering Chemistry 44, pp. 550-552.

Calaveras, J., 2004. *Nuevo tratado de panificación y bollería.* AMV Ediciones. ISBN: 84-89922-91-8

Campero, O., 2009. Bio*gas en Bolivia programa "Viviendas autoenergéticas" una nueva forma de ver el futuro energético-ambiental del país, en área rural.* Tecnologias en Desarrollo. [en línia] disponible a: http://www.eumed.net/rev/delos/04/ocr.pdf [últim accès: 16/09/2015]

Campos, E., Elías, X. i Flotats, X., 2012. *Procesos biológicos: la digestión anaerobia y el compostaje.* Tratamiento y valorización energética de residuos. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, pp. 618-644.

Cavalcanti, P., 2003. *Integrated aplication of the UASB reactor and ponds for domestic sewage treatment in tropical regions.* PhD, Tesis, sub-department of Environmental Technology, Wigeningen University.

Central Intelligence Agency, 2013. The World Factbook, *The Gambia.* [en línia] disponible a: https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ga.html [últim accès: 18/05/2015]

Chen, X., Yuan, H., Dexun, Z., Yanping, L., Baoning, Z., Chufo, A., Jaffar, M., 2015. *Improving biomethane yield by controlling fermentation type of acidogenic phase in two-phase anaerobic co-digestion of food waste and rice Straw.* Chemical Engineering Journal 273, pp. 254–260.

Ciudad Saludable, 2012. [En línia] disponible a: http://www.ciudadsaludable.org [últim accès: 04/09/2015]

Cuetos, M., Gómez, X., Otero, M., Morán, A., 2008. *Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW).* Biochemical Engineering Journal 40, pp. 99-106.

Ecoinventos.com, 2015. *Desarrollo sostenible*. [en línia] disponible a: www.ecoinventos.com [últim accès: 06/08/2015]

Energy Information Administration, 2012. *International Energy Statistics.* [en línia] disponible a: http://knoema.com/EIAIES2015Jun/international-energy-statistics-august-2015 [últim accès: 23/08/2015]

FAO, 1993. *Forest Resources Assesment: Tropical Countries.* [en línia] disponible a: www.fao.org/docrep/007/t0830e00.htm [últim accès: 07/06/2015]

FAO, 2005. *GLiPHA, Global Livestock Production and Health Atlas. Rome, Animal Production and Health Division (AGAL).* [en línia] disponible a: http://www.fao.org/ag/aga/glipha/index.jsp [últim accès: 10/05/2015]

FAO, 2005. *Livestock sector brief,* Gambia.

FAOSTAT, FAO, 2015. *Country profile.* [en línia] disponible a: http://faostat.fao.org/CountryProfiles/Country_Profile/Direct.aspx?lang=en&area=75 [últim accès: 17/05/2015]

FishSTAT, FAO. [en línia] disponible a: www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstat/en [últim accès: 11/06/2015]

Flotats, X. i Sarquella, L., 2008. *Producció de biogàs per codigestió anaeròbia.* [En línia] disponible a: http://icaen.gencat.cat/web/.content/06_relacions_institucionals_i_comunicacio/04_publicacions/quadern_practic/arxius/01_produccio_biogas.pdf [Últim accés: 22/07/2015].

Foresti, E., 2002 *Anaerobic treatment of domestic sewage: established technologies and perspectives.* Water Sci. Technol 45, pp. 181–186.

Fundació Kalilu Jammeh, 2015. [En línia] disponible a: [blocs.xarxanet.org/fundaciokalilujammeh/?lang=es [Últim accés: 13/07/2015]

Fundación México-Estados Unidos, 2006. *Documento guía de la herramienta para la estimación de gases de efecto invernadero para el sector productivo de celulosa y papel de México*. [en línia] disponible a: http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/Guia%20C&P%20Mexico%20V1.0-Spanish.pdf [últim accés: 10/09/2015]

Gambia.com, *Waste management at Bakoteh dumpsite, 2014.* [en línia] disponible a: http://www.gambia.com/gambia-news/kmc-provides-d1-5m-for-waste-management-at-bakoteh-dumpsite [últim accès: 13/06/2015].

Google maps, 2015. *Gàmbia.* en línia] disponible a: https://www.google.es/maps/place/Gàmbia/@13.4308392,-15.8637115,9z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0xec29c2965af3807:0x9e4a4c406b139d2a [últim accés: 06/07/2015].

Government of The Gambia, *Gambia National Agricultural Investment Plan (GNAIP), 2011.* [en línia] disponible a: http://www.nationsencyclopedia.com/Africa/The-Gambia-INDUSTRY.html,ixzz3hyFTqUio [últim accés: 01/07/2015].

Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., 2011. FAO. *Global food looses and food waste*. [en línea] disponible a: http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e.pdf [últim accés: 02/09/2015]

Hartmann, H., 2003. *Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste with recirculation of process water.* PhD Thesis. BioCentrum-DTU. Technical University of Denmark, Lyngby.

Hejnfelt, A. i Angelidaki, I., 2009. *Anaerobic digestion of slaughterhouse by-products. Biomass and Bioenergy* 33 pp. 1046-1054.

Hernández, M. i Sastre, A., 1999 T*ratado de nutrición.* Ediciones Díaz de Santos, S. A., Madrid.

Hopwood, L., 2011. *Head of Biomass & Biogas Farm-Scale Anaerobic Digestion Plant Efficienc*, NNFCC.

IPCC, 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Reference Manual. Volumes: 2. Energy, 4.Agriculture, Forestry and Other Land use, 5.Waste. Intergovernmental Panel of Climate Change. [en línia] disponible a: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html [últim accés:22/09/2015]

Jerger, D., Chynoweth, D., Isaacson, H., 1987. *Anaerobic digestion of sorghum biomass.* Bioprocess, pp. 99–113. Engineering Research Laboratory, Agricultural Engineering Department, University of Florida.

Juma, A. i Singarvelu, M., 2014. *Global biomethanation potential from waste- a review.* CIGR Journal 16, Num 4, pp. 178-193.

Lansing, S., Víquez, J., Martínez, H., Botero, R., Martin, J., 2008. *Quantifying electricity generation and waste transformations in a low-cost, plug-flow anaerobic digestion system.* Ecological Enginering. 34, pp. 332–348.

Lehtomäkia, A., Viinikainenb, J., Rintala, J., 2008. *Screening boreal energy crops and crop residues for methane biofuel production.* Biomass and Bioenergy 32, pp 541–550.

Lettinga, G., 1983. *Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperatures using a granular bed UASB reactor*. pp. 50-54.

McCarty, P., 1964. *Anaerobic waste treatment fundamentals.* Public Works 95, pp. 123-126.

Mendy, A., 1996. *Review of the situation of fish resources and management measures implemented in The Gambia.* Fisheries Department, The Gambia.

Millarium.com, 2008. *Ingenieria civil y medio ambiente.* [en línia] disponible a: http://www.miliarium.com/Proyectos/depuradoras/tratamientos/blandos/diseno6.gif [últim accès 17/09/2015]

Mussgnug, J., Klassen, V., Schluter, A. i Kruse, O., 2010. *Microalgae as substrates for fermentative biogas production in a combined biorefinery concept.* Journal of Biotechnology 150, pp. 51-56.

NAWEC, 2012. *Brikama Power Suply Project.* [en línia] disponible a: www.newec.gm/index.php/projects/completed-projects [últim accès: 29/07/2015]

Nzainga, J., 2002. *Preliminary and detailed engineering design study for bakoteh dump site.* The Gambia agency for the management of public works.

Oficina d'informació diplomàtica, 2014. *Fitxa país, Gambia.*[en línia] disponible a: http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/GAMBIA_FICHA%20PAIS.pdf [últim accès 07/09/2015]

Oficina catalana del canvi climàtic, 2012. *Guía práctica para el calculo de emisiones de efecto invernadero*. [en línia] disponible a: http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/politiques/politiques_catalanes/la_mitigacio_del_canvi_climatic/guia_de_calcul_demissions_de_co2/120301_guia_practica_calcul_emissions_rev_es.pdf [úñtim accés: 20/09/2015]

Poh, P., Chong, M., 2008. *Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent (POME) treatment*. Bioresource Technology 10, pp. 1-9.

Prabhudessai, V., Ganguly, A., i Mutnuri, S., 2013. *Biochemical Methane Potential of Agro Wastes* Journal of Energy. [en línia] disponible a: http://dx.doi.org/10.1155/2013/350731 [últim accès 22/08/2015]

Probiogàs. *Informes y documentos. Subproyecto 1*. [en línia] disponible a: www.probiogas.es [últim accés 14/08/ 2015].

Ronzano, E., Dapena, J. *Medida de la Contaminación Orgánica*. [en línia] disponible a: http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/organica.pdf [últim accès: 11/08/2015]

Ros, A., Ródenas, M., Fuente, E., Montes, M., Martín, M.J.y Linares, A., 2006. H*igh surface area materials prepared from sewage sludge-based precursors*. Chemosphere, 65 (1), 132-140

Salminen, E. i Rintala, J., 2002. *Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste - a review.* Bioresource Technology, 83, pp. 13-26.

Sanneh, E., Allen, H., Chang, Y., Sayang, E., 2011. *Introduction of a recycling system for sustainable municipal solid waste management: a case study on the greater Banjul area of the Gambia.* Sustainable Systems and Technology (ISSST), IEEE International Symposium 1, pp. 16-18 doi: 10.1109/ISSST.2011.5936884

Seré, C. i Steinfeld, H., 1995. *World livestock production systems.* Fao animal production and health paper 127. [en línia] disponible a: http://www.fao.org/docrep/004/W0027E/W0027E00.HTM [últim accès: 29/04/2015]

Sustainable Energy for All, 2012. *The Gambia, Rapid Assessment and Gap Analysis.* [en línia] disponible a: http://www.se4all.org/wp-content/uploads/2014/01/Gambia-Rapid-Assessment-and-Gap-Analysis_draft-2.pdf [últim accès: 24/07/2015]

The Gambia Bureau of Statistics, 2013. *The Gambia 2013 Population and Housing Census Preliminary Results.* Republic of The Gambia. [en línia] disponible a: www.gbos.gov.gm [últim accès: 20/05/2015]

Vilamajó, C., 2011. *Avaluació energètica de residus industrials biodegradables a Catalunya*. TFC. Universitat Politècnica de Catalunya.

Wang, G., *Biogas Production from Energy Crops and Agriculture Residues,* 2010. PhD Thesis, Technical University of Denmark.

Wang, L., Hung, Y., Howard, H., Yapijakis, C., 2006. *Waste Treatment in the Food Processing Industry.* Segona edició. Taylor and Francis group. ISBN: 978-0-8493-7236.-0

Wastewater Engineering Group, 2015. *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Process* [en línia] disponible a: www.wastewaterenginering.com [últim accés 04/09/2015].

Wiegant, W., 2001. *Experience and potential of anaerobic treatment in tropical regions.* Water Sci. Technol 44, pp.107–113

Wikimedia commons, 2015. *File: Location Gambia* [en línia] disponible a: https://commons.m.wikimedia.org/wiki/File:LocaltionGambia.svg [últim accés 19/06/2015].