



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

(Especialidad mecánica)

**EL BIOGÁS COMO ALTERNATIVA PARA UN
DESARROLLO ENERGÉTICO SOSTENIBLE EN LA
REGIÓN DE DOTITO, ZIMBABWE**

Autor: Carlos Ruiz Díez

Directora: Miren Telleira Ajuriaguerra

Octubre 2019



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Carlos Ruiz Díez

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: El Biogás como alternativa para un desarrollo energético sostenible en la región de Dotito, Zimbabwe, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.

- a) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- b) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- c) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- d) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 08. De octubre de 2019

ACEPTA

Fdo:

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título “EL BIOGÁS COMO ALTERNATIVA PARA UN DESARROLLO ENERGÉTICO SOSTENIBLE EN LA REGIÓN DE DOTITO, ZIMBABWE” en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas

en el

curso académico 2018/2019 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Carlos Ruiz Díez

Fecha: 07/11/2019

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Aceptación del Director (firma y fecha)

78936800-12
31/10/2019

Fecha: 07 / 11 / 2019



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

(Especialidad mecánica)

**EL BIOGÁS COMO ALTERNATIVA PARA UN
DESARROLLO ENERGÉTICO SOSTENIBLE EN LA
REGIÓN DE DOTITO, ZIMBABWE**

Autor: Carlos Ruiz Díez

Directora: Miren Telleira Ajuriaguerra

Octubre 2019



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Tabla de contenido

Índice de ilustraciones.....	11
Índice de tablas:.....	13
1. Introducción y planteamiento del problema:	17
1.1 Introducción:.....	17
1.2 Motivación del proyecto:.....	18
1.3. Justificación de cambios con respecto al plan original.	20
1.4 Objetivos:.....	22
1.5 Metodología.....	23
2. Contexto de Zimbabwe:	25
2.1 Condiciones geográficas, históricas, demográficas y climáticas de la región de Dotito.	25
2.2. Child Future África y la Fundación de Ingenieros de ICAI para el desarrollo. Project Zimbabwe.	28
2.3 Los objetivos de desarrollo sostenible en Zimbabwe:	31
2.3.1 ¿Qué son los ODS?	31
2.3.2 Los Objetivos del Desarrollo Sostenible en Dotito (Zimbabwe).....	32
2.4 El biogás como respuesta a la situación de Zimbabwe	62
3. La tecnología del biogás.	65
3.1 Los productos de la digestión anaerobia	65
3.2 Breve introducción histórica	68
3.3 Tipos de biodigestores en medio rural y sus características	68
3.4 Beneficios medioambientales del uso del biogás	72
3.5 Fundamentos de la digestión anaerobia [24], [25]	73
3.6 Factores determinantes en la digestión anaerobia:	75
3.6.1 Naturaleza del sustrato utilizado	75
3.6.2 Relación carbono/nitrógeno.....	77
2.6.3 Niveles de sólidos totales (humedad de la muestra)	78
3.6.4 Temperatura.....	79
3.6.5 Rangos de pH.....	80
3.6.6 Tiempo de retención y carga diaria.	81
3.6.7 DBO/DQO	81
3.6.8 Nutrientes	81
3.6.9 Inhibidores de la reacción.	82
3.6.10 Agitación:	83
4. Instalación de biodigestores en Zimbabwe	85
4.1 Modelo con tanque de agua en Nowetza Village.	85
4.1.1 Descripción del entorno.....	85
4.1.2 Materiales necesarios y presupuesto	85
4.1.3 Proceso constructivo y arranque:	86
4.1.4 Cálculos para el llenado y proceso de puesta en marcha.....	91



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

4.1.5 Seguimiento de la evolución del biodigestor.....	94
4.1.6 Conclusiones.....	95
4.2 Modelo con lona de PVC en Chipata Village	97
4.2.1 Justificación de construcción y descripción del entorno.....	97
4.2.2 Materiales necesarios y presupuesto	97
4.2.3 Proceso constructivo y arranque	98
.....	101
4.2.4 Cálculos y arranque.....	104
4.3 Conclusiones generales y continuidad del proyecto.....	106
5. Memoria económica:	109
.....	109
Anexo C: Otros proyectos desarrollados en Dotito.	111
C. 1. Escuela de soldadura.....	111
C.2 Huerto ecológico para las mujeres	117
Anexo D: Manual de biogás escrito para los granjeros.....	119
Bibliografía:	143



Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Letrinas secas en Dotito.....	20
Ilustración 2. esquema de construcción de una letrina abonera. Fuente: INFOM TV ...	21
Ilustración 3. Localización de Zimbabwe y su capital Harare. Fuente: Maphill	25
Ilustración 4. Billete de 100 trillones de dólares zimbabuenses, acuñado en 2008. Fuente: Todocolección.net	26
Ilustración 5. Tierra cultivada en miles de hectáreas. Fuente: Gobierno de Zimbabwe.	26
Ilustración 6. Situación de la región de Mt. Darwin. Fuente: Maphill.	27
Ilustración 8. Logo CFA. Fuente: childfutureafrica.org.....	29
Ilustración 7. La familia de CFA. Fuente: Miren Telleira.	29
Ilustración 9. Kazai Secondary School. Fuente: fundación de ingenieros de ICAI.	30
Ilustración 10 Fuente: ONU, Trollbäck +	32
Ilustración 11. Mercado de tabaco gubernamental. Fuente: Tsvangirayi Mukwazhi/ AP Photo. 2017	36
Ilustración 12. Vehículo propulsado por biometano en la ciudad de Chiclana. Fuente: Andalucía Información, proyecto All Gas.	67
Ilustración 13. Biodigestor tipo "huevo" en Coburg, Alemania. Fuente: RSB Formwork technology.....	69
Ilustración 14. Modelo chino. Fuente: Wordpress.com.....	70
Ilustración 15. Biodigestor indiano. Fuente Wordpress.com.....	70
Ilustración 16. Tres biodigestores horizontales instalados en paralelo. Fuente: Sistema biobolsa.	71
Ilustración 17. Esquema de las reacciones que ocurren en la digestión anaerobia. Fuente: Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991	73
Ilustración 18. Voluntarios cavando. Fuente: Manuel Moreno.....	87
Ilustración 19. En el interior del tanque para sellar el agujero y apretar la tuerca del conducto de salida. Fuente: Manuel Moreno	88
Ilustración 20. Refuerzo de los agujeros derritiendo plástico. Fuente: Manuel Moreno.	88
Ilustración 21. Tanque instalado con tuberías. Se puede apreciar el agujero superior sellado con plástico fundido. Fuente: Manuel Moreno.	88
Ilustración 22. Tubería en el silo de salida. Fuente: El autor.....	89
Ilustración 23. Construcción del silo de salida. Fuente: Manuel Moreno	89
Ilustración 24. Silo terminado. Fuente: Manuel Moreno.....	89
Ilustración 25. Válvula de seguridad. Fuente: El autor.	90
Ilustración 26. Gasómetro válvula de coche, en este caso el gas contenido no era inflamable por su alto contenido en CO ₂ . Fuente: el autor.....	90
Ilustración 27. T de usos múltiples con sistema de agitación acoplado. Fuente: el autor.	90
Ilustración 28. Mezcla de los cuatro lotes. Fuente: Manuel Moreno	92
Ilustración 29. Primer llenado del digestor. Fuente: Manuel Moreno.....	92
Ilustración 30. Espacio elegido antes de comenzar a cavar. Fuente: el autor.	99
Ilustración 31, Agujero antes de limpiar el área. Fuente: el autor.	99
Ilustración 32. Trabajadores cavando. Fuente: el autor.....	99
Ilustración 33. El resultado final con la zona de trabajo despejada. Los sacos de la derecha contienen heces de vaca y cerdo y rastrojo de trigo. Fuente: el autor. ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 34. Preparación de las tuberías. Fuente: El autor.....	100

12



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Índice de tablas:

Tabla 1. Distribución de temperaturas a lo largo del año en la ciudad de Harare. Fuente: Climate-data.org	27
Tabla 2. Distribución de lluvias a lo largo del año. Fuente: Climate-Data.org	27
Tabla 3. Datos de temperatura y precipitaciones en la ciudad de Mt. Darwin entre los 60 y los 90. Fuente: World Meteorological Organization.	28
Tabla 5: Inflación del Bond Dollar desde enero de 2018 hasta octubre de 2019. Fuente: testimonios recogidos por el autor.....	37
Tabla 6. Ingresos anuales en USD por tipo de profesión. * Ingresos por hectárea cultivada. ** Asalariados del gobierno. Fuente: entrevistas realizadas en el terreno.	39
Tabla 7. Precio de bienes y servicios en septiembre de 2019. Fuente. El autor	39
Tabla 8. Ingresos diarios por persona y día en USD en la región de Dotito. Fuente: datos registrados por el autor.	40
Tabla 9. Crecimiento del PIB per cápita en Zimbabwe desde 1960. Fuente: Banco Mundial.....	41
Tabla 10. Histórico de la producción nacional de maíz en miles de millones de toneladas. Fuente: Index Mundi	43
Tabla 11. Animales de granja en la región de Dotito. Fuente: el Autor.....	45
Tabla 12. Casos confirmados de malaria por cada mil habitantes en las distintas regiones de Zimbabwe. Fuente: World Health Foundation.....	48
Tabla 13. Financiación de métodos de lucha contra la malaria. Fuente World Health Foundation	48
Tabla 14. Propiedades del biogás. Fuente Deublein y Steinhäuser, 2008.....	66
Tabla 15. Comparativa energética del biogás. Fuente: FAO Manual de Biogás.	66
Tabla 16. Clasificación de los distintos sustratos. Fuente: Esguerra, 1989.....	76
Tabla 17. Proporción de Carbono y nitrógeno de diferentes tipos de residuos. Fuente: Varnero y Arellano, 1991.	77
Tabla 18. Nivel de sólidos totales de diferentes materias primas. Fuente: Varnero y Arellano, 1991.....	78
Tabla 19. Tasa de crecimiento en los rangos psicrófilos, mesófilos y termófilos. Fuente: Speece, 1996.	79
Tabla 20. Actividad microbiana en relación con el pH. Fuente: Speece, 1996	80
Tabla 21. Efectos del amoníaco según su concentración. Fuente: Mc Carty 1964.....	82
Tabla 22. Algunos inhibidores dependiendo de sus concentraciones. Fuente: Gene y Owen 1996.....	82



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

El biogás como alternativa para un desarrollo energético sostenible en la región de Dotito, Zimbabwe

Autor: Ruiz Díez, Carlos

Directora: Telleira Ajuriaguerra, Miren

Entidad: Universidad Pontificia de Comillas (ICAI), en colaboración con Fundación de ingenieros de ICAI y Child Future Africa.

El presente documento narra la planificación, ejecución y desarrollo de un proyecto de implantación de sistemas de producción de biogás en diferentes áreas rurales de Zimbabwe durante los meses de julio, agosto y septiembre de 2019.

Todo el proyecto, se ha realizado a través de la ONG local Future Child Africa, en colaboración con la Fundación de ingenieros de ICAI.

El presente documento tiene un doble objetivo:

En primer lugar, trata de ser literatura de referencia para futuros cooperantes de ICAI que quieran conocer mejor la situación de Dotito. Para ello, con el objetivo de hacer un estudio riguroso y útil, se han tomado los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) de la agenda 2030 de la ONU como documento de referencia. Estando allí, se realizaron más de cuarenta entrevistas a personas de toda condición, sexo o edad. Una vez recopilada la información, se ha añadido y contrastado rigurosamente con los datos ofrecidos por diferentes organismos oficiales. Encontrando, en algunos casos, que los datos cuadraban perfectamente; en otros, que había diferencias significativas y en otros que la información ofrecida por el gobierno y recopilada por diferentes organismos es directamente falsa. Finalmente, se ha elaborado un informe de los siete primeros objetivos, por considerarlos los más relevantes y se han comentado aspectos relevantes o curiosos sobre algunos de los otros diez.

En segundo lugar, este trabajo reflexiona sobre el biogás como una alternativa viable y adecuada para afrontar la escasez de recursos energéticos en las áreas rurales de Zimbabwe. Para ello, se apoya en casos de éxito de diferentes partes del mundo y momentos de la historia. Además, narra la construcción, puesta en marcha y resultados de dos biodigestores diferentes. Uno en la aldea de Nowedza y otro en la región de Chipata.

Por último y como objetivo añadido, muestra otros proyectos de menor envergadura llevados a cabo en este tiempo: la reparación de un parque escolar, un pequeño curso de soldadura y la creación de un huerto ecológico familiar.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Biogas as an alternative for sustainable energy development in the Dotito region, Zimbabwe.

Author: Ruiz Díez, Carlos

Director: Telleira Ajuriaguerra, Miren

Entity: Universidad Pontificia de Comillas (ICAI), in collaboration with Fundación de ingenieros de ICAI and Child Future Africa.

This document describes the planning, execution and development of a project to implement biogas production systems in different rural areas of Zimbabwe during the months of July, August and September 2019.

The entire project has been carried out through the local NGO Future Child Africa, in collaboration with the ICAI Engineers Foundation.

This document has a double objective:

First, try to be a reference literature for future ICAI cooperators who want to get to know Dotito's situation better. To that purpose, in order to make a rigorous and useful study, the sustainable development goals (SDGs) of the UN 2030 agenda have been taken as a reference document. While there, more than forty interviews were conducted with people of all conditions, sex or age. Once the information has been collected, it has been rigorously added and contrasted with the data offered by different official bodies. Finding, in some cases, that the data fit perfectly; in others, there were significant differences and in others that the information offered by the government and collected by different agencies is directly false. Finally, a report of the first seven objectives has been prepared, considering them the most relevant and relevant or curious aspects have been commented on some of the other ten.

Second, this work reflects on biogas as a viable and adequate alternative to address the scarcity of energy resources in rural areas of Zimbabwe. To do this, it relies on success stories from different parts of the world and moments in history. In addition, it tells the construction, commissioning and results of two different biodigesters. One in the village of Nowedza and one in the Chipata region.

Finally, and as an added objective, it shows other smaller projects carried out at this time: the repair of a school park, a small welding course and the creation of a family-friendly organic garden



1. Introducción y planteamiento del problema:

1.1 Introducción:

El presente documento, recoge el trabajo llevado a cabo en Zimbabwe entre el 17 de Julio de 2019 y el 17 de septiembre del mismo año. Durante estos dos meses, ocho estudiantes de último curso de ingeniería industrial, desarrollaron diferentes proyectos dedicados al desarrollo de comunidades situadas en el Norte del país. Para ello, contaron con la colaboración de Future Child Africa, ONG local fundada por George Seremwe que desde hace una década invierte en infraestructuras para ofrecer un futuro a las familias de la zona.

Este trabajo tiene un doble objetivo:

En primer lugar, el de la implementación y la promoción de sistemas para la producción de biogás en medios rurales. La producción de biogás, es una técnica antigua que ha tenido sus altibajos a lo largo de la historia. Sin embargo, en este momento de escasez de combustibles fósiles, ha vuelto a ganar fuerza. La posibilidad de su autogeneración, almacenamiento relativamente sencillo y comodidad en su consumo, la convierten en una buena alternativa para poblaciones rurales con escasez de recursos. El hecho de que proceda de residuos orgánicos y biomasa, la convierte en una energía renovable; por lo que son muchos los países que están subvencionando iniciativas que promuevan su producción.

El segundo objetivo, es el de ofrecer una imagen más global del país, que pueda servir de apoyo a las siguientes generaciones de ingenieros que trabajen con Project Zimbabwe. Por esto, se ha hecho un estudio de las condiciones en las que se encuentra el país y concretamente la región de Dotito, donde se desarrolla nuestra actividad.

Para ello, se ha tomado un documento de consenso internacional. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Las metas marcadas en cada objetivo, han servido de referencia para identificar cuales eran los aspectos más importantes que investigar dentro de la situación social, económica, política y estructural. Sin embargo, el carácter de los indicadores está pensado para hacer una evaluación global y en algunos casos, no proporciona toda la información adecuada para un estudio local. Es por esto que se han añadido otros indicadores que pudiesen resultar interesantes para dar una mejor imagen de la situación de una sociedad muy distinta a la europea. Dado que estudiar los 17 objetivos para el desarrollo sostenible (ODS) requeriría de mucho tiempo, información que no ha sido posible recopilar y posiblemente un trabajo dedicado exclusivamente a ello; se han estudiado con cierto grado de profundidad los siete primeros. Sobre el resto de los objetivos, se han dejado comentarios interesantes, anotaciones o breves descripciones que puedan ofrecer al lector algo de información sobre el estado de esa materia en el país.

Por último, en la parte final del documento, se narran brevemente otros proyectos de menor envergadura que se llevaron a cabo durante los dos meses de estancia.



1.2 Motivación del proyecto:

Aunque han pasado unos meses, la motivación sigue siendo la misma que la ofrecida en su día en el anexo B. Esta decía así:

“Para ser sinceros, creo que la motivación para elegir este proyecto, mana directamente del ideal de educación ignaciano. Durante los cinco años que he estudiado en la escuela he ido conociendo poco a poco el modelo de profesional que nos plantea la Compañía. Esa famosa formación integral que va más allá de la excelencia académica y que en este tiempo ha ido calando en mi. Utilitas, humanitas, iusticia y fides; como se extiende su uso en latín, son las cuatro dimensiones del hombre que un alumno ignaciano debería conocer, y creo que desde ellas se puede explicar muy bien mi motivación:

Utilitas: *Una educación útil que proporcione a sus alumnos, las herramientas necesarias para llevar a cabo un trabajo sobresaliente en el ámbito profesional.*

La oportunidad de poner en práctica el proyecto de fin de grado, verlo hecho realidad y que no quede únicamente en el marco teórico es importante. Convivir y trabajar con personas locales, formar obreros, dirigir la construcción de varias letrinas a la vez y construir y probar un biorreactor, enfrentándome al examen de la realidad, es un gran reto. Así mismo, que mi trabajo sirva a otros para mejorar, aunque sea ligeramente, sus estándares de vida, poniendo todo el conocimiento adquirido al servicio de otras personas, es para mi un enorme privilegio.

Humanitas: *Una educación humanística que proporcione a los alumnos una formación integral en valores humanos y cultive su ser personal.*

La perspectiva de un trabajo exclusivamente técnico, en el que todo mi desempeño fuese delante de un ordenador o un laboratorio, no terminaba de seducirme. Por el contrario, una experiencia humana, en la que parte fundamental del trabajo sea la de conocer y tratar con personas me atraía más. Conocer a través de entrevistas sus preocupaciones y sueños para adaptar mi trabajo a estas necesidades y así hallar la mejor respuesta es una gran motivación. En suma, la perspectiva de un TFG más generalista, que a demás de especializarme en contenido técnico, me forme en aspectos económicos, sociales y educativos; es coherente con mi inquietud profesional.

Iusticia: *Una educación para la justicia, que motive a percibir y pensar críticamente, para obrar en conciencia, así, juzgar y actuar a favor de los derechos de las personas.*

La justicia social y ambiental, aparecen en el horizonte de mi carrera profesional constantemente. Personalmente, no tengo ambiciones egoístas, sino que me gustaría dedicar mi conocimiento, tiempo y esfuerzo a construir un mundo más justo y más sostenible. Desde este enfoque, África es una gran oportunidad. En un lugar donde el ideal de consumismo radical no ha llegado y existe más facilidad para emprender y crear nuevos negocios, es posible desarrollar sistemas económicos sostenibles. Educando y promoviendo la economía circular, respetuosa con el medio ambiente, que genere un



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

crecimiento comunitario, se puede demostrar que es viable otro tipo de modelo, que sirva de luz a otros.

Fides: *Una educación creyente que cultiva la dimensión trascendente de la persona, que proporcione información y experiencias para que el estudiante pueda asumir razonablemente la fe cristiana, respetando la libertad religiosa.*

Este último aspecto, mucho más personal que los anteriores, es una constante en mi vida. Todo mi trabajo, está enfocado desde mi relación personal con el Misterio y mi agradecimiento por todo lo que me ha dado. Espero que mi estancia en Zimbabwe, en la que podré conocer una vida humilde y gozar de tiempo en silencio, me ayude en mi camino hacia la virtud.”

La justificación ofrecida hace unos meses, sigue siendo válida hoy. Sin embargo, la experiencia de ir y volver, tomando realismo de la situación ofrece algunos puntos de vista interesantes. Sin duda, estos dos meses en el terreno, han sido un reto personal y profesional diferente a cualquiera que hubiese enfrentado antes. Se podrían ofrecer cantidad de razones por las que considerar esta, como una experiencia integral. Encontrarse a un nivel de exigencia mucho mayor al esperado, convivir con trabajadores con una cultura y métodos absolutamente diferentes y aprender de ellos, enfrentarse a los propios límites y superarlos por tener puesto el corazón en aquello que se hace no tiene precio.

Existen multitud de razones por las que un ingeniero de ICAI, o cualquier persona con vocación de servicio podría encontrar una motivación para desarrollar un proyecto similar a este. En mi caso, basta con recordar la esperanza y la alegría que éramos capaces de llevar allí donde íbamos.



1.3. Justificación de cambios con respecto al plan original.

Como se describe en el anexo B, la primera propuesta que se recibió desde Child Future África, fue la de construir letrinas. Cuando se comenzó a planificar el proyecto, se revisaron las diferentes posibilidades de construcción de letrinas. Las posibilidades que se barajaron en un primer momento fueron las siguientes:

- Instalar letrinas secas tradicionales en el caso de que no las hubiese.
- Construcción de inodoros completos con agua corriente.
- Implementación de letrinas secas aboneras, con la ventaja del aprovechamiento del residuo.
- Red de varias letrinas secas que, mezclándose con otro tipo de deshechos o estiércoles, se utilizasen para la producción de biogás.

Tras evaluar todas las posibilidades, se descartó la primera opción, pues en la región de Dotito, existen cantidad de letrinas secas tradicionales. La mayoría de ellas, fueron por los propios vecinos. Por tanto, construir este tipo de letrinas, no aportaba nada al conocimiento o al desarrollo de las comunidades.



Ilustración 1. Letrinas secas en Dotito.

En segundo lugar, se descartó la instalación de inodoros completos por la ausencia de agua corriente o alcantarillado. Esta opción, sencillamente era inviable.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Descartadas las dos primeras opciones, en un primer lugar, y con la recomendación de la dirección del proyecto, se comenzó a trabajar en el diseño de letrinas aboneras secas y de sistemas híbridos que permitiesen la producción de biogás. Cuando comenzó el viaje, esa era la idea original. Para ello, se recogió multitud de información, se realizaron ensayos, esquemas y cálculos.

En el caso de las letrinas aboneras, están bastante extendidas, por lo que fue sencillo encontrar diagramas que explicasen su construcción y mostrasen el funcionamiento, ofreciendo útiles recomendaciones. Aquí se puede ver un esquema:

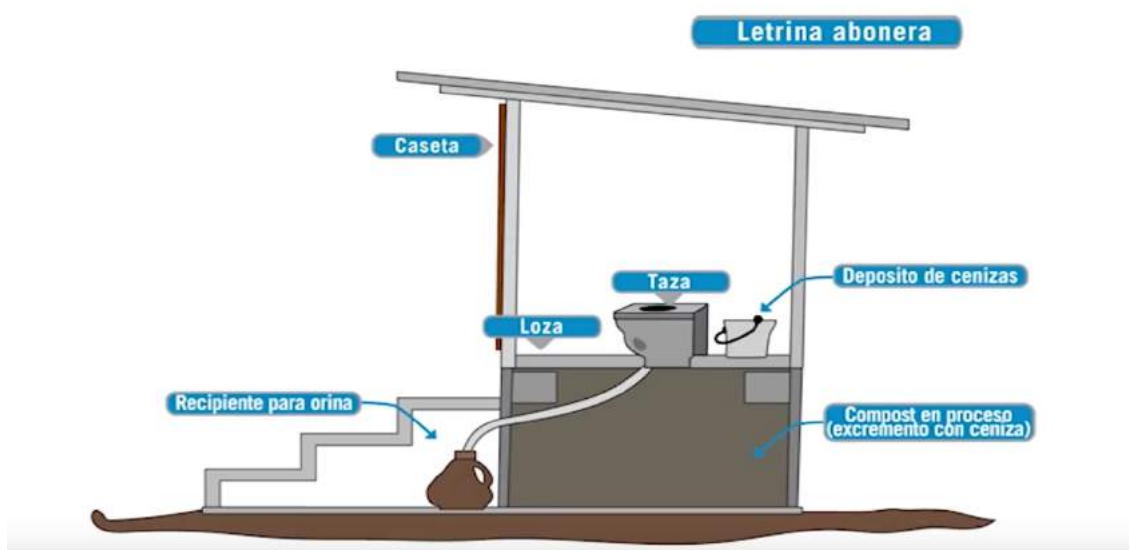


Ilustración 2. esquema de construcción de una letrina abonera. Fuente: INFOM TV

En esta fase, se estudió mucho sobre el compostaje, las ventajas ecológicas de este y diferentes métodos para obtener un buen compost de diferentes materias primas. Esta información fue útil a la hora de desarrollar el huerto ecológico del que se habla en el anexo de otros proyectos realizados.

Además, se comenzó a planificar la forma de integrar los residuos humanos en un diseño de un digestor. Para ello, se constuyó un digestor a escala, en un recipiente de 30 litros, con este, se hicieron las primeras pruebas. Más tarde, se empezaron a evaluar distintas opciones para el sistema pensado. El diseño original, consistía en una letrina con separador de orina, esta se estabilizaba por un mes para regular el pH. Las heces, se mezclaban con una parte calculada de materia orgánica distinta y otra parte de agua. Después, esta mezcla se juntaba con estiércol de vaca para aumentar el contenido diario.

Sin embargo, una vez allí hubo que cambiar de idea. Todas las personas a las que se preguntó en la primera semana, se negaron a utilizar sus propios deshechos para ningún fin. Tras tratar de explicar varias veces las ventajas para el saneamiento, la higiene y la energía que se podría obtener, la respuesta siguió siendo la misma.

Esta respuesta, modificó todos los planes que se habían hecho en su día, por un momento se planteó reducir el proyecto a la construcción de letrinas, pero esa decisión implicaba que, durante el tiempo de la estancia, ningún nuevo conocimiento se iba a



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

transmitir a la comunidad. Por otro lado, forzar a la comunidad a encargarse del mantenimiento de un sistema del que se negaban a formar parte, no habría tenido sentido.

Finalmente, tras consultarlo con la comunidad y tener un feedback positivo de su parte, se optó por construir digestores con restos animales, lo cual resultó ser del agrado de los vecinos.

1.4 Objetivos:

Los objetivos del proyecto son:

En España, antes de ir:

- Conocimiento del contexto de Zimbabwe para hacer una buena aproximación al problema
- Creación de un grupo sólido de compañeros, para trabajar juntos por un objetivo común
- Recaudación de fondos necesarios para la financiación de todos los proyectos, finalmente se consiguió recaudar más de 30.000 euros.
- Investigación sobre el compostaje y el biogás para tener los recursos necesarios antes de entrar en el terreno.
- Realizar cálculos aproximados de presupuesto.
- Planificar un calendario para cumplir hitos.
- Preparar las preguntas adecuadas para las entrevistas sobre los ODS.

En Zimbabwe: (Por orden de prioridad)

- Construcción y arranque de un modelo de biodigestor.
- Finalización de todos los proyectos de Project Zimbabwe una vez se fueron todos los demás compañeros.
- Recopilación de información a cerca de los Objetivos para el Desarrollo Sostenible. Haciendo especial interés en el estado de la educación en la región de Dotito.
- Asegurar la continuidad del proyecto del biogás, encontrando y formando a las personas adecuadas.
- Creación de un huerto ecológico con compost orgánico.
- Construcción y arranque de un segundo modelo de biodigestor.
- Reparación de columpios de la escuela.
- Compartir conocimientos de soldadura e invertir en jóvenes para formar un negocio.

De vuelta en España:



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

- Análisis de los datos recogidos, contraste con la información disponible en los medios oficiales y obtención de conclusiones al respecto.
- Elaboración de un proyecto técnico adecuado que sea de utilidad para futuros miembros de Project Zimbabwe
- Captación de nuevos miembros y apoyo en sus tareas.

1.5 Metodología

La metodología utilizada para el desarrollo del proyecto, fue la siguiente:

Meses previos:

- Investigación
- Recopilación de documentación que pudiese servir de ayuda
- Ensayos en casa con digestores a escala.
- Recaudación de fondos para la financiación

Estancia en Zimbabwe:

- Diálogo con los vecinos para terminar de definir la solución.
- Compra de los materiales.
- Construcción y arranque involucrando a los locales.
- Formación a personas encargadas del mantenimiento.
- Recopilación de información.
- Entrevistas a personas de la zona.

Meses posteriores:

- Contraste de información
- Redacción del documento



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez



2. Contexto de Zimbabwe:

2.1 Condiciones geográficas, históricas, demográficas y climáticas de la región de Dotito.

Zimbabwe es un país situado en el Sur del continente africano, carece de salida al mar y hace frontera con Sudáfrica por el Sur, Mozambique por el Este, Zambia por el Norte y Botsuana por el Oeste. La capital de Zimbabwe, Harare, se encuentra al Noreste del país y acoge la sede presidencial. Su reconocimiento como país independiente no ocurrió hasta 1980, tras la guerra de liberación. Hasta entonces y desde 1880, fue una colonia británica llamada Rhodesia. Durante sus años de colonización, fue una de las naciones más ricas de África. Sus minas repletas de diamantes y oro y su tierra fértil en la que se cultivaba especialmente tabaco y algodón, fueron fuente de riqueza durante décadas.

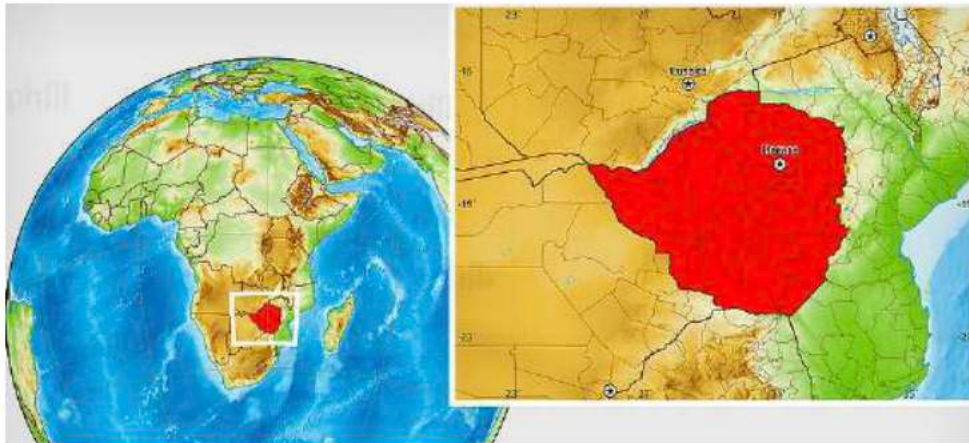


Ilustración 3. Localización de Zimbabwe y su capital Harare. Fuente: Maphill

Uno de los cabecillas de la revolución, el recientemente fallecido Robert Mugabe, tomó el mando como presidente en democracia. Tras 38 años en el poder, en la que se considera internacionalmente como una falsa democracia, fue destituido por los miembros de su propio partido Zanu PF. Actualmente, el primer ministro del país es Emmerson Mnangagwa, ex ministro de economía en la época de Mugabe. Durante los años de gobierno de Zanu PF, el país se ha ido empobreciendo poco a poco hasta llegar a aparecer en los últimos puestos en los rankings de pobreza a escala mundial. Durante la década de los 90, la bonanza económica se mantuvo relativamente estable. Aunque el gobierno se había marchado, muchos terratenientes ingleses mantenían la propiedad de la tierra. Estos, empleaban a cambio de salarios muy pequeños a los locales, esta explotación, aunque injusta, daba sus frutos, porque la producción de maíz y tabaco mantuvo al país estable durante dos décadas.

A principio de los 2000, comenzaron a expropiarse estas tierras y se repartiendo entre un gran número de pequeños granjeros locales. Aunque la medida parecía ser adecuada pues devolvería la tierra a sus legítimos dueños, resultó ser un desastre para la estabilidad del país. 400 terratenientes ingleses, fueron sustituidos por unos 16.000 dueños de parcelas de menor tamaño. La producción de los bienes principales se deterioró



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

Carlos Ruiz Díez

rápidamente, la falta de una estrategia, de formación y de inversión por parte del gobierno, terminó acabando con dos tercios de la producción de tabaco, algodón y cereales. Tras encadenar años de pérdidas, en 2008 se alcanzó la mayor inflación de la historia de cualquier país. El dinero perdía valor día a día hasta llegar a un 100.000% de inflación. Como curiosidad, se llegó a imprimir un billete de cien trillones de dólares zimbabuenses que al poco tiempo no tenía ningún valor.



Ilustración 5. Tierra cultivada en miles de hectáreas. Fuente: Gobierno de Zimbabwe.



Ilustración 4. Billete de 100 trillones de dólares zimbabuenses, acuñado en 2008. Fuente: Todocolección.net

Los años pasaron y el país se recuperó ligeramente de su mayor crisis, utilizando divisas internacionales y con gobiernos de coalición. Actualmente, la situación vuelve a ser muy preocupante, la nueva divisa nacional pierde valor día tras día, las sequías de los últimos dos años, han dejado muy perjudicada a la ciudadanía y la falta de libertad democrática impide a los ciudadanos protestar o manifestarse contra un gobierno corrupto a todas luces.

En cuanto a su tamaño, tiene un área muy similar al de España. Sin embargo, sólo 16 millones de habitantes, un 10% de ellos en la capital. Es un país bastante despoblado, cuya explotación de las tierras es escasa, predominando los paisajes de arbustos y llanura. La riqueza geográfica se encuentra al Norte del país, donde se encuentra la joya de Zimbabwe y su gran atractivo turístico, las Cataratas Victoria. Situadas en la frontera con Zambia, suponen una maravilla de la naturaleza, sin embargo, una mala gestión de su imagen exterior, ha repercutido en el número de visitas que habitualmente viajan y se alojan en Zambia, cruzando a Zimbabwe exclusivamente para visitar las cataratas.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

El clima de Zimbabwe es tropical seco, diferenciándose dos grandes estaciones, la lluviosa, de noviembre a marzo y la seca, de abril a octubre. Esta diferencia, supuso una ventaja a la hora de planificar cultivos, pues sembrando en octubre, las cosechas de marzo solían estar aseguradas y ser abundantes, sin embargo, las sequías están generando incertidumbre y malas cosechas.

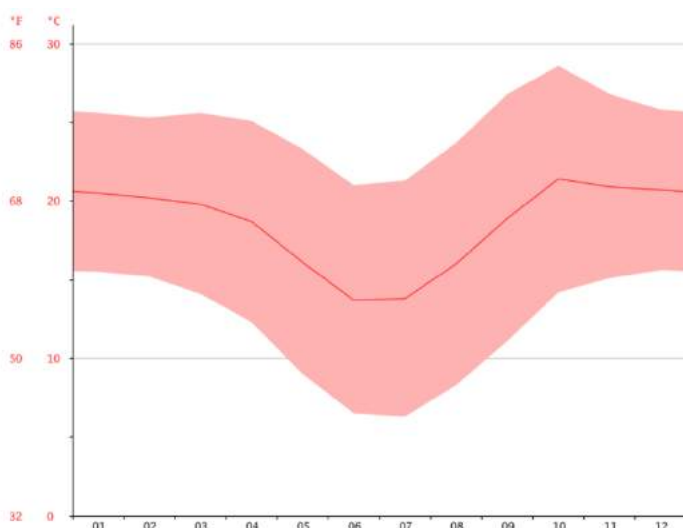


Tabla 1. Distribución de temperaturas a lo largo del año en la ciudad de Harare. Fuente: Climate-data.org

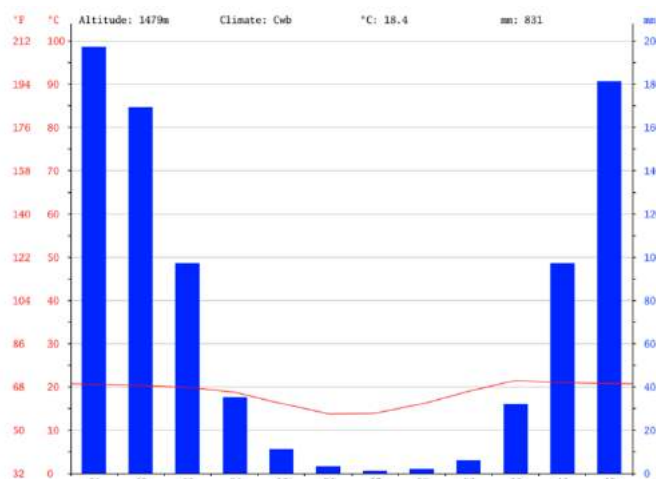


Tabla 2. Distribución de lluvias a lo largo del año. Fuente: Climate-Data.org

Las temperaturas son moderadas a lo largo de todo el año, alcanzándose las cotas mas altas en octubre y noviembre. Sólo hay un trimestre ligeramente más frío, que coincide con la época de menos lluvias entre mayo

La labor de Future Child África y Project Zimbabwe se centra en la región de Mt. Darwin, al norte del país. En este distrito viven alrededor de 160.00 habitantes, de los cuales unos

6000 se concentran en la ciudad de Mt. Darwin. Unos 40 km más al norte, se encuentra Dotito. Un pequeño pueblo de menos de mil habitantes que es el último lugar civilizado antes de las aldeas donde se llevaron a cabo los proyectos.

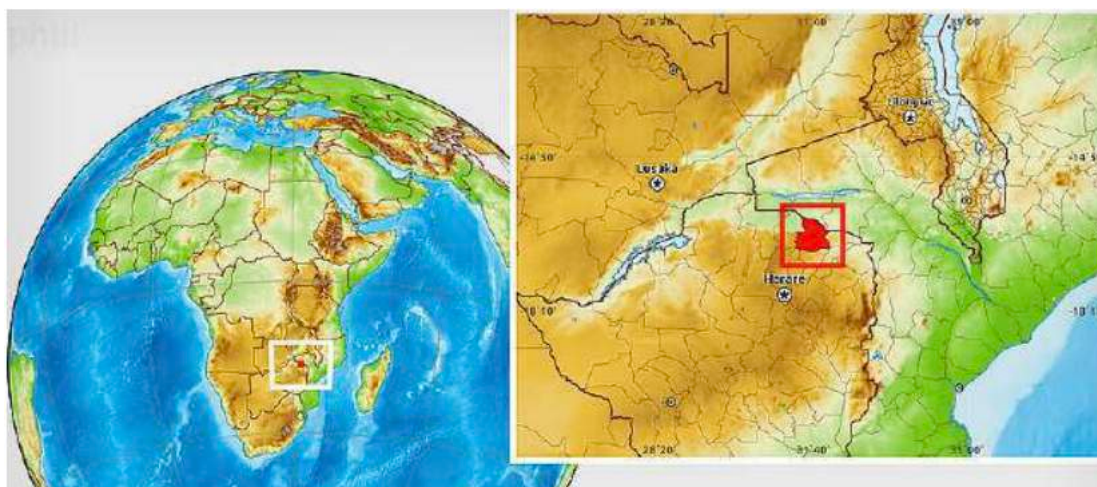


Ilustración 6. Situación de la región de Mt. Darwin. Fuente: Maphill.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

En estas aldeas, que carecen de ningún tipo de comodidad, como agua o electricidad, se encuentra la gran mayoría de los habitantes del país, ya que la vida en las capitales es mucho más cara. A pesar de que no existen carreteras y hay muy pocos vehículos en la zona, hay red 3G, lo que permite a muchos de los habitantes de estos remotos lugares, estar conectados a internet. En las aldeas que rodean Dotito, el principal trabajo de los vecinos es el cultivo de tabaco. Por ello, dependen mucho del clima para su alimento y sus ingresos. En la siguiente tabla se muestran algunos datos del clima de la zona.

Climate data for Mount Darwin, Zimbabwe (1961–1990)													[hide]
Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Average high °C (°F)	28.3 (82.9)	27.9 (82.2)	28.0 (82.4)	27.6 (81.7)	26.1 (79.0)	24.0 (75.2)	23.8 (74.8)	26.2 (79.2)	29.3 (84.7)	31.5 (88.7)	30.7 (87.3)	28.8 (83.8)	27.7 (81.9)
Average low °C (°F)	18.5 (65.3)	18.4 (65.1)	17.1 (62.8)	14.3 (57.7)	9.8 (49.6)	6.6 (43.9)	6.1 (43.0)	8.1 (46.6)	12.5 (54.5)	16.7 (62.1)	18.4 (65.1)	18.5 (65.3)	13.8 (56.8)
Average rainfall mm (inches)	219.0 (8.62)	185.9 (7.32)	86.7 (3.41)	28.9 (1.14)	5.2 (0.20)	0.9 (0.04)	1.2 (0.05)	0.5 (0.02)	1.4 (0.06)	10.3 (0.41)	64.2 (2.53)	183.4 (7.22)	787.6 (31.01)
Average rainy days	16	14	7	2	1	0	0	0	0	1	7	14	62

Tabla 3. Datos de temperatura y precipitaciones en la ciudad de Mt. Darwin entre los 60 y los 90. Fuente: World Meteorological Organization.

2.2. Child Future África y la Fundación de Ingenieros de ICAI para el desarrollo. Project Zimbabwe.

La organización no gubernamental Child Future África, nace de la iniciativa de George Seremwe, un joven originario de una de las aldeas cercanas a Dotito, llamada Ngenge Village. Tras una infancia normal en la región de Kazai, George tuvo la oportunidad de emigrar a Holanda a finales de los años noventa. Allí consiguió terminar sus estudios en negocios. Después de unos años, George se encontraba en una situación acomodada y gozaba de cierto nivel de vida.

Fue en 2006, al ser plenamente consciente de la dramática situación en la que se encontraba su país de origen, cuando decidió regresar a Zimbabwe. Con los ahorros que logró reunir, invirtió en la construcción de un Lodge para turistas llamado It's a Small World y situado en Harare, que sirviese de sustento para las actividades sociales que llevaría a cabo más adelante. Con los años, el negocio fue creciendo, hasta crear una pequeña red de cinco lodges repartidos por diferentes partes del país. Actualmente, el 15% de los beneficios de su negocio se destinan íntegramente a Child Future África.

Desde 2006, Child Future África comenzó a tener actividad. En primer lugar, con la construcción de una casa de acogida para niños huérfanos a 10 km de Mt. Darwin. Allí, alrededor de diez niños y niñas que carecen de otro apoyo, viven y se desarrollan en un ambiente alegre y familiar. Los críos, acuden diariamente al colegio público situado a escasos metros de la residencia. La casa de acogida cuenta con un huerto, una gran plantación de maíz y trigo, una pequeña granja de cerdos y muchas comodidades poco frecuentes en la zona: luz, agua corriente y televisión.

Además de los niños, en ella viven tres profesionales, dos dedicadas al cuidado y la educación y uno que se encarga de toda la gestión de las plantaciones y el cuidado de los cerdos. Además, la casa acoge diferentes becarios recientemente graduados que



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

colaboran en las labores de agricultura, gestión económica y al cabo de los meses se convierten en uno más de la gran familia de la casa.

Este modelo de granja/orfanato, tiene como objetivo la auto sostenibilidad. Mientras se implica a los niños en el cuidado de la huerta y de la casa, se les educa en una el que es el principal negocio del país, se obtienen ciertos ingresos de la venta de frutas y verduras y se mejora la calidad de vida de todos.



Ilustración 8. Logo CFA. Fuente: childfutureafrica.org



Ilustración 7. La familia de CFA. Fuente: Miren Telleira.

Además del orfanato, CFA trata de mejorar las condiciones de vida de las comunidades de los alrededores de Mt. Darwin y Dotito, haciendo un especial esfuerzo en las regiones originarias de George Seremwe. El objetivo principal de la organización, es la creación de infraestructuras comunitarias que favorezcan el desarrollo de las aladeas, centrándose especialmente en la mejora de la formación a todos los niveles y facilitar el acceso al agua corriente para crear comunidades sostenibles.

En paralelo en 2010, se creó la Fundación de Ingenieros de ICAI. Desde entonces ha colaborado en el desarrollo de más de veintiocho proyectos en tres continentes. Especialmente centrada en la lucha contra la pobreza energética, el acceso a agua potable y la formación en España; es la respuesta nacida de ICAI para compartir la formación recibida poniéndola al servicio de los demás.

Los caminos de estas dos fundaciones, se cruzan en 2015, a través de la ingeniera de caminos Miren Telleira. Desde su encuentro con George ese año, comienza a buscar jóvenes ingenieros que la ayuden a recaudar fondos y a dedicar su tiempo y sus conocimientos a ayudar en lugares con menos suerte. Así, se creó el Proyecto Zimbabwe, una iniciativa que ya ha llevado a más de 20 jóvenes españoles a realizar trabajos de fin de grado a Zimbabwe, mejorando sus habilidades profesionales y enfrentándolos a la realidad más allá de la teoría estudiada en la escuela.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Desde entonces, se han llevado a cabo multitud de proyectos, siendo los más relevantes los siguientes:

- Construcción de un colegio de secundaria en la región de Kazai.



Ilustración 9. Kazai Secondary School. Fuente: fundación de ingenieros de ICAI.

- Creación de pozos y bombas solares que dan servicio a más de 500 personas.
- Ampliación de las infraestructuras de CFA para poder acoger a 12 niños más.
- Implantación de sistemas de energía solar para el orfanato.
- Creación de tanques para el almacenamiento de agua destinada al regadío.

En el verano de 2019, se llevaron a cabo 5 proyectos principalmente:

- Construcción de un colegio de formación profesional en Kazai.
- Llevar agua corriente a la comunidad en torno al colegio de primaria de Kazai.
- Dotar de agua al colegio de formación profesional.
- Creación de una piscifactoría que ayude a la mantención de CFA.
- Implementación de sistemas de producción de biogás.



2.3 Los objetivos de desarrollo sostenible en Zimbabwe:

2.3.1 ¿Qué son los ODS?

Ante la crisis económica, social y ambiental de la que el mundo era plenamente consciente en 2012; varios países, a través de las Naciones Unidas, comenzaron a desarrollar la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Fue en 2015 cuando la ONU presentó un documento final que recogía 17 objetivos. Cada uno de estos, contiene una serie de metas e indicadores que, de cumplirse, garantizarían el bienestar de esta y las futuras generaciones en nuestro planeta. La Agenda 2030, es un documento de consenso, firmado por 193 países que, en mayor o menor medida, se han comprometido en emprender medidas efectivas para promover el cumplimiento de dichos objetivos.

En cualquier caso, no existe un proyecto común para enfrentar los retos que trata de abordar la Agenda 2030 y es cada país independientemente, el que debe planificar y ejecutar las medidas adecuadas en cada caso. Tras estudiar concienzudamente todas las metas e indicadores, se ha llegado a la conclusión de que éstos tienen un carácter global, que trata de evaluar el progreso de el planeta en su conjunto. En este sentido, utilizar exactamente los mismos indicadores para enfrentar los retos locales, sería un error. Cada región del mundo, tiene sus propios problemas y soluciones adecuadas a su entorno y cultura. De todos modos, aunque no sea la herramienta perfecta, no cabe duda de que la Agenda 2030 es una guía de gran valor para evaluar si el progreso va en la buena dirección.

Podríamos separar los 17 ODS en tres grandes bloques. Por un lado, los que buscan garantizar las necesidades básicas para una vida digna y el bienestar. Por otro, los que tratan de prevenir a los países contra un desarrollo irresponsable que agote los recursos del planeta y asegurar el cuidado de su diversidad en el futuro. Por último, los que se centran en garantizar la justicia social y promover la igualdad entre todos los hombres y mujeres. Si bien esta separación no es exacta, ya que algunos objetivos pueden afectar a varias dimensiones, sí puede resultar útil a la hora de comprender mejor la Agenda 2030 y el fin con el que se redactó.

“Estamos resueltos a poner fin a la pobreza y el hambre en todo el mundo de aquí a 2030, a combatir las desigualdades dentro de los países y entre ellos, a construir sociedades pacíficas, justas e inclusivas, a proteger los derechos humanos y promover la igualdad entre los géneros y el empoderamiento de las mujeres y las niñas, y a garantizar una protección duradera del planeta y sus recursos naturales”. Resolución de la Asamblea General de Naciones Unidas, 4ª sesión parlamentaria 25 de septiembre de 2015, Nueva York.

En última instancia, la Agenda 2030 es una herramienta. Un mecanismo que nos ayuda a estar preparados para el futuro, una incómoda guía que nos enfrenta a las desigualdades e irresponsabilidades con las que hemos convivido mucho tiempo.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez



Ilustración 10 Fuente: ONU, Trollbäck +

Desde el punto de vista del desarrollo o la cooperación, podemos tomar algunos o todos los ODS para evaluarlos sobre una pequeña comunidad o un país completo. Estos, darán una idea muy acertada de las carencias, comodidades y necesidades de las sociedades estudiadas. De este modo, se podrá entender mejor la situación local para así tomar las mejores decisiones.

2.3.2 Los Objetivos del Desarrollo Sostenible en Dotito (Zimbabwe).

Durante la estancia en el terreno, se han estudiado los ODS en Zimbabwe mediante tres métodos diferentes. En primer lugar, mediante la observación. La variabilidad de los precios, las comodidades disponibles, los recursos en las escuelas, la televisión local, conversaciones informales o incluso paseos conscientes; han sido de gran utilidad a la hora de recoger información real y de gran valor para el fin propuesto. En segundo lugar, los datos oficiales ofrecidos por el gobierno de Zimbabwe, las Naciones Unidas o ONGs que trabajan en el campo; arrojan luz sobre aspectos difícilmente visibles en las calles. Por último, durante la estancia allí, se realizaron más de cincuenta entrevistas y encuestas a personas de toda clase y edad. Algunos de los entrevistados respondieron a todas las preguntas propuestas y otros a unas pocas o las más centradas en cierto campo de interés. Sin duda, esta fase del estudio, más allá de estadísticas oficiales y opiniones personales, revela la realidad de miles de personas que viven día a día en condiciones muy adversas, que, tras años de estudios universitarios, no llegan a fin de mes y que no albergan ninguna esperanza ni confianza en el actual gobierno. Dentro de este último grupo de entrevistas, es importante destacar las llevadas a cabo en escuelas. Durante los dos meses de estancia, se visitaron dos escuelas de primaria y una de secundaria para conocer: 1) El sistema educativo, los contenidos y la concordancia entre los objetivos y la realidad. 2) El nivel del alumnado en matemáticas, inglés y los problemas a los que se enfrentan. 3) El grado



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

de formación y motivación del profesorado, sus métodos y las dificultades que encontraban en su trabajo diario.

Esta parte del trabajo, busca ofrecer una visión general sobre el estado de desarrollo de la región de Dotito y las aldeas que se extienden a su alrededor. Por tanto, las entrevistas se llevaron a cabo exclusivamente en esta zona, que es el área donde la ONG Child Future África trabaja y puede tener impacto. Es cierto que algunos datos registrados por otros métodos, han sido recogidos en Harare o son datos oficiales del estado. En este sentido, sólo se han tenido en cuenta los que: 1) Puesto afectan a toda la nación son perfectamente aprovechables. (Precio de los bienes, tasa nacional de pobreza, escasez de recursos, inflación...). 2) Los que, aunque no tienen efecto directo en Dotito, dan información relevante sobre la gestión del país, su industria o el uso de sus recursos; lo que repercute evidentemente en la vida de todos los Zimbaweses (Importaciones y exportaciones, panorama político, sistema educativo...).

Las entrevistas, se realizaron a 58 personas de diferentes edades, condiciones sociales, sexo y localización. Tratando de ser lo más rigurosos posibles, se preguntó a una mayoría de personas de las aldeas alrededor del pueblo y a unas quince personas en el pueblo de Dotito, donde hay una mayor densidad de población, pero que supone sólo una pequeña parte del número total de habitantes de la zona.

Las preguntas realizadas en la entrevista fueron:

1. Nombre
2. Edad
3. Situación familiar (Número de hijos, personas a cargo...)

POBREZA Y ALIMENTACIÓN:

4. ¿Tienes alguna fuente de ingresos? ¿Cual es? ¿Entra dinero en tu casa de otra forma?
5. ¿Cuáles son tus ingresos anuales?
6. ¿Posees tierras? ¿Tienes algún documento que lo respalde? ¿Consideras tener seguridad jurídica sobre ellas?
7. ¿Alguna vez has sufrido escasez de alimentos?
8. ¿Tienes animales de granja? ¿Para venta o consumo?
9. ¿Cultivas? ¿Qué tipo de plantación? ¿Qué ingreso anual te suponen tus cultivos?
10. ¿Trabajas o vendes tus cultivos al gobierno?

SALUD:

11. ¿Has sido vacunado alguna vez? ¿De qué?
12. Distancia al hospital/clínica más cercana. ¿Qué servicios recibes ahí?
13. ¿Tomas medicamentos habitualmente?
14. Evalúa qué grado de dificultad supone para ti ir al hospital. Muy fácil, fácil,



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

normal, complicado, muy complicado, imposible.

12.b) Si lo consideras difícil, muy difícil o imposible; ¿qué es lo que lo hace tan complicado? Distancia/ precio/ cultura/ otros

- 15. ¿Has dado a luz en un hospital?
- 16. ¿Existe alguna ayuda contra la malaria o el SIDA? ¿Quién la proporciona?
- 17. ¿Conoces métodos anticonceptivos? ¿Los usas?

EDUCACIÓN (19, 20 y 21 preguntadas a profesores exclusivamente)

- 18. ¿Qué nivel de estudios tienes? ¿Te gustaría estudiar más?
- 19. ¿Con qué nivel de motivación desempeñas tu trabajo?
- 20. ¿Cuáles crees que son los mayores problemas de la educación?
- 21. ¿Qué le haría falta a la escuela para mejorar sus resultados?

Además de estas preguntas, se realizaron pruebas básicas de nivel en matemáticas, inglés y cultura mundial; para ofrecer luz sobre el estado de la educación. A esto, se le suma una importante recogida de información sobre el modelo educativo del que hablará en el siguiente bloque de contenido.

AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO

- 22. ¿Tienes agua corriente en casa? Si no, ¿cuál es la distancia al pozo más cercano
- 23. ¿Sueles utilizar jabón al lavarte las manos?
- 24. ¿Tienes una letrina? ¿De qué tipo?

ENERGÍA

- 25. ¿Llega la red eléctrica a tu casa? Aproximadamente, ¿cuántas horas de luz tienes al día? ¿En qué horario?
- 26. ¿Tienes algún sistema de producción eléctrico? ¿Qué potencia instalada?
- 27. ¿Para qué usas la electricidad?
- 28. ¿Posees un móvil?

INFRAESTRUCTURA Y ECOLOGÍA

- 29. ¿Posees medio de transporte?
- 30. ¿Posees una casa?
- 31. ¿Tienes teléfono móvil? ¿Tiene conexión a internet?
- 32. ¿Los caminos cercanos a tu casa son transitables todo el año?
- 33. ¿Cómo tratas tu basura?
- 34. ¿Sabes lo que es el reciclaje?
- 35. ¿Sabes lo que es el cambio climático o la contaminación?



JUSTICIA, POLÍTICA Y SOCIEDAD

36. ¿Consideras que tienes seguridad jurídica?
37. ¿Confías en los gobernantes del país? ¿Cuáles crees que son sus motivaciones?
38. ¿Practicas la poligamia? ¿Por qué sí o por qué no?
39. Si tuvieses la posibilidad, ¿dejarías a tu familia y tu comunidad para ir a otro país?
40. ¿Qué es lo más importante para ti?
41. ¿Qué grado de felicidad sueles tener? Muy feliz, feliz, normal, triste, muy triste, desesperado.
42. ¿Qué crees que necesita esta región?

La respuesta a estas preguntas, desglosadas por edad y sexo; nos ofrecen una información muy útil para comprender a fondo la situación en Zimbabwe.

Un estudio completo sobre todos los ODS en Zimbabwe, excedería con mucho el objetivo de este trabajo. En cualquier caso, este quiere ofrecer una perspectiva general sobre el estado de la región, profundizando especialmente, en los objetivos que pueden ser influenciados por futuros proyectos de esta escuela. Así, mientras que algunos objetivos se comentarán brevemente, ofreciendo breves descripciones o impresiones personales; otros como el primero o el cuarto; se estudiarán en mayor detalle. Especial atención pondremos en el séptimo, referente a la energía limpia y asequible, a través del cual justificaremos la utilidad del biogás en el país.

Tampoco es el objetivo de este trabajo el de encontrar las causas y soluciones de todos los problemas de un país con multitud de carencias. Sin embargo, en algunos casos se irá más allá de dar estadísticas y datos, tratando de compartir con el lector algunos factores sociales, culturales y experiencias personales que ayuden a entender mejor la situación.

En conclusión, el estudio que se realiza a continuación, tiene un carácter informativo que puede ser de gran utilidad para los próximos estudiantes que trabajen con Project Zimbabwe, para las decisiones de acción que se puedan tomar y para cualquier persona interesada en un país tan interesante como complejo.



OBJETIVO 1. PONER FIN A LA POBREZA EN TODAS SUS FORMAS EN TODO EL MUNDO

El primero de los objetivos del Desarrollo Sostenible, se centra en la pobreza y otras formas de miseria. En las metas de este, se contemplan dos indicadores de pobreza diferentes. El primero, llamado umbral internacional de pobreza, se refiere al número de personas que viven con menos de 1,25 dólares americanos por persona y día. El segundo indicador, conocido como umbral nacional de pobreza, es el que considerando la situación propia de cada país (precios, bienes públicos, condiciones sociales...) se aplica sobre cada país.

Aunque, como es lógico, no se puede elaborar un indicador adecuado a cada una de las situaciones y regiones diferentes. Es importante tener en cuenta que la vida en la capital, es considerablemente más cara que la vida en los entornos rurales. Normalmente, en estos entornos las tierras son hereditarias y en estas se cultiva para autoconsumo. Por otro lado, la ausencia de comodidades como agua corriente o electricidad, implica la ausencia de facturas y el poquísimos comercio accesible, hace que los gastos en este tipo de regiones sean muy limitados. Esta triste realidad, se contempla como un factor importante a la hora de evaluar las situaciones de pobreza/miseria. En conclusión, una familia de tres hijos que se vive con tres USD al día en Harare, no podrá pagar sus facturas, gastará la mayoría de sus ingresos en el mercado y tendrá serias dificultades para mandar a sus hijos al colegio. Por otro lado, una familia con esos ingresos en Dotito, no gastará en bienes primarios (Porque carece de algunos), no tendrá que pagar su casa una vez construida y pagará unas tasas escolares mucho más bajas. Este fenómeno, explica la tendencia cada vez más extendida en el pueblo Zimbabwes de volver hacia las zonas rurales abandonadas hacía dos generaciones en pos de una vida más digna y más tranquila.

Para entender la situación económica de Zimbabwe, debemos tener en cuenta tres factores muy importantes:

- La economía del país mayoritariamente agrícola. Siendo maíz su principal alimento y tabaco su producto estrella para la exportación. Zimbabwe es el sexto exportador de tabaco a nivel mundial e ingresó 933 millones de dólares en 2016. La venta del tabaco está regulada por el gobierno y todos los pequeños agricultores deben vender a través del mercado con precios fijos. El precio del tabaco, durante la última campaña, fue de unos 1,7 USD por Kg de tabaco seco,



Ilustración 11. Mercado de tabaco gubernamental. Fuente: Tsvangirayi Mukwazhi/ AP Photo. 2017





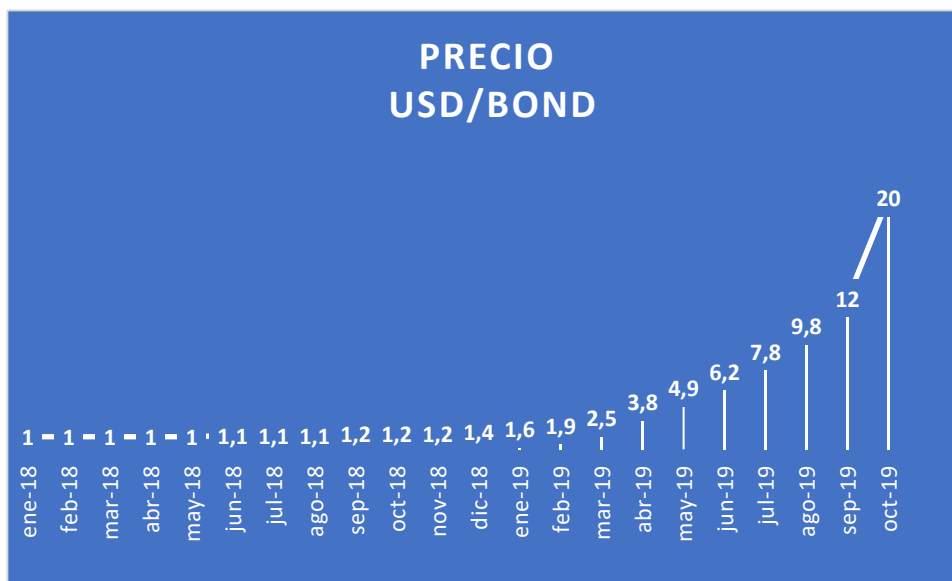
UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

dependiendo de su calidad.

La otra gran fuente de riqueza de Zimbabwe son sus minas. Oro, diamantes o materiales de construcción, son los principales extractos de la tierra. Sin embargo, la mala gestión de estas, la intromisión internacional y la corrupción gubernamental, imposibilitan que esta riqueza material se traduzca en el bienestar de la población

- Desde 2008 se utilizaron exclusivamente divisas extranjeras, en especial el US Dollar y el RAND sudafricano. El nuevo Bono Zimbabuense, fue introducido por el gobierno en 2014 para recuperar el control de una economía que había caído en la anarquía tras la hiperinflación que en 2009 terminó definitivamente con el antiguo Dollar de Zimbabwe. Esta nueva forma de pago, que carece de validez internacional, funcionó razonablemente bien durante los primeros años, en los que, se utilizaba indistintamente con un valor de 1:1 con respecto al dólar americano. Si bien en el verano de 2018, ya empezó a perder algo de valor en el mercado negro, no fue hasta principios de 2019, momento en el cual se anunció que se prohibiría el uso del USD, cuando se precipitó su precio. Los datos recogidos en la siguiente tabla fueron tomados personalmente allí.

Tabla
4:



Inflación del Bond Dollar desde enero de 2018 hasta octubre de 2019. Fuente: testimonios recogidos por el autor.

Esta increíble caída del valor de la divisa nacional, conlleva una evidente situación de pobreza, el precio de las monedas aumenta diariamente, mientras que los sueldos de los funcionarios van perdiendo valor a medida que pasan los meses. Además, el hecho de que no tenga validez internacional, dificulta en gran medida la importación de artículos de primera necesidad. La compra de vehículos, maquinaria básica para el desarrollo industrial o la posibilidad de estudiar o viajar fuera del territorio nacional, se ve muy limitada, siendo imposible para la gran mayoría de los zimbabuenses



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

- Por último, es importante comentar la escasísima producción industrial que existe en el país. Prácticamente, todos los vehículos, maquinaria o aparatos electrónicos; provienen de China, con la que Zimbabwe mantiene muchas relaciones comerciales. Además de productos, Zimbabwe también necesita importar combustibles, puesto que a penas tiene fuentes de energía disponibles.

Esta increíble necesidad de comprar bienes del exterior, unida a la imposibilidad de pagar estos con su propia moneda, crea una situación de estancamiento sobre cualquier ciudadano o empresa. Las posibilidades se limitan a conseguir de manera ilegal dólares americanos o adquirir los productos del exterior (Especialmente la gasolina) a través del gobierno. El gobierno, negocia con sus minerales o los dólares que frecuentemente compra en las calles o consigue en aeropuertos y otros organismos internacionales. La situación es paradójica, mientras que los ciudadanos son perseguidos y arrestados por utilizar o aceptar los dólares americanos, la administración exige su uso para cualquier trámite gubernamental.

Las metas perseguidas por el primer objetivo de los ODS, desglosan por sexo, edad, situación laboral y lugar de residencia, los diferentes niveles de pobreza. En este sentido, la escasez de recursos a la hora de recoger información, limita bastante esta distinción. Además, en una sociedad como la de Zimbabwe, es muy difícil diferenciar a los diferentes benefactores de los ingresos familiares. En general, los hombres trabajan, mientras que las mujeres se quedan en casa, pero al contrario que en otras sociedades, suelen ser ellas las que administran la economía familiar.

Antes de ofrecer datos sobre los índices de pobreza, es interesante conocer los salarios medios de diferentes profesiones, así como el precio de ciertos bienes. Con esto, se espera ofrecer un punto de vista más general de la situación laboral.

Como se puede comprobar, la situación laboral del trabajador medio en la región de Dotito, es bastante precaria. Al mirar detenidamente las estadísticas, se deduce que los trabajadores contratados por el gobierno (Profesores, policías o médicos) viven con unos ingresos mensuales que, en ningún caso, superan los 100 USD al mes. La gran mayoría de estos trabajos, están ocupados por personas que, a pesar de tener un alto nivel de estudios, tienen serias dificultades para mantener un nivel de vida digno. Por el contrario, los pequeños autónomos como soldadores, electricistas o transportistas; que trabajan para sí mismos y no tienen una formación superior, suelen ingresar cantidades más importantes.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

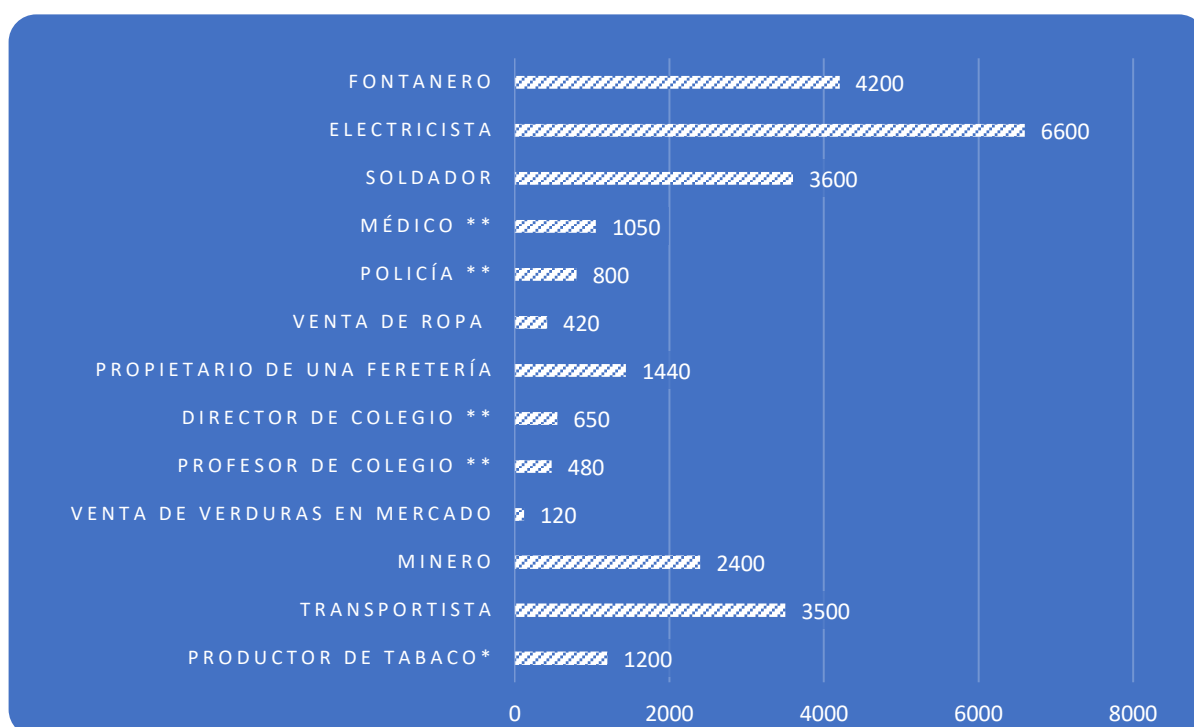


Tabla 5. Ingresos anuales en USD por tipo de profesión. * Ingresos por hectárea cultivada. ** Asalariados del gobierno. Fuente: entrevistas realizadas en el terreno.

Con ese nivel de ingresos, se reducen mucho las posibilidades de progresar, tener ocio o una alimentación variada en un país como Zimbabwe. Ya que, a pesar de la pobreza generalizada, los bienes y servicios más comunes, son inaccesibles para la mayoría de la población. Aquí se ofrece una pequeña muestra del precio de algunos bienes comunes o básicos.

Barra de pan	0,95	usd
Harina de maíz (2 kg)	0,8	usd
Menú en restaurante	1,2	usd
Litro de gasolina	1,12	usd
Coche estilo Pick-up sudafricano	22.000	usd
Visita al hospital público	10	usd
Tasas escolares (trimestre)	6	usd
Tasas universitarias (semestre)	150	usd
Transporte Harare- Dotito (200 km)	5	usd
Cinco tomates	0,2	usd

Tabla 6. Precio de bienes y servicios en septiembre de 2019. Fuente. El autor

La cultura de Zimbabwe es muy familiar, por lo que prácticamente, todos los ingresos que los diferentes miembros de una familia ganan se destinan a su cuidado. Para estimar los niveles de pobreza, se tomaron los datos de ingreso diario en el hogar (generalmente un único ingreso del padre de familia) y se dividieron entre el número de personas se mantenían con ese ingreso. Así, se evaluó de manera sencilla la proporción de personas



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

que vive por debajo de los diferentes umbrales de pobreza. Los resultados, recogidos exclusivamente en la región de Dotito, fueron los siguientes:

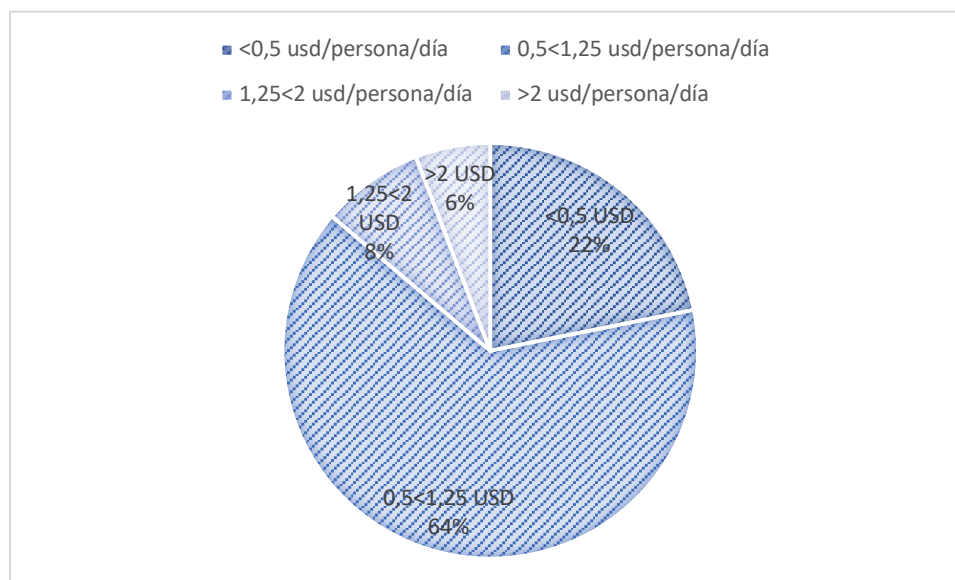


Tabla 7. Ingresos diarios por persona y día en USD en la región de Dotito. Fuente: datos registrados por el autor.

Estos datos suponen que alrededor del 85% de los habitantes de las aldeas cercanas y el pueblo de Dotito, viven por debajo del umbral internacional de pobreza. Es importante resaltar que prácticamente todos los entrevistados que superaban este umbral vivían en las zonas menos rurales. Otro aspecto importante es la relevancia del tamaño de las familias dependientes de un sueldo. En muchos casos, los salarios más altos registrados, se corresponden a hombres polígamos con dos o más familias que sustentan a 10 o 12 personas. A pesar de que el método utilizado para calcular este índice los sitúa en muchos casos por debajo de este umbral internacional, son, en general, personas con cierto poder adquisitivo. (Medio de transporte, una cantidad significativa de animales de granja o negocios propios). Con esto, podemos concluir que la manutención de un niño en esta región no es especialmente costosa. Más allá de las tasas escolares, la alimentación o las primeras vacunas, no existe un gasto fijo importante derivado del nacimiento de un bebé tal y como sucede en la cultura europea.

La meta 1.2 del primer objetivo, nos habla de la protección social que se brinda a la ciudadanía. Esta se refiere a los servicios que se ofrecen a personas discapacitadas, desempleadas, ancianas, recién nacidas o embarazadas. En conclusión, todos los grupos que puedan tener algún grado de vulnerabilidad. En este sentido, las ayudas son escasas por no decir inexistentes. Las ayudas económicas a desempleados no existen desde hace más de dos décadas. Tampoco existen centros públicos dedicados a la atención de discapacitados o ancianos, ni un seguro de salud para los trabajadores del estado. Las ayudas gubernamentales, se terminan en una asistencia básica y gratuita al parto y las vacunas básicas a los recién nacidos. Existen algunas ONG's u organizaciones similares que anualmente hacen campañas contra el SIDA o la malaria.

En cuanto a la posesión de tierras, otro de los indicadores por la ONU, encontramos un alto número de personas que posee campos de cultivo (más de un 90% en el caso de los hombres). Esta es la principal fuente de ingresos de los habitantes de la



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

Carlos Ruiz Díez

región estudiada y alrededor de un 62% de los varones entrevistados se dedicaban exclusivamente al trabajo de la tierra, concretamente a la producción de tabaco. Esta tasa se reduce drásticamente si nos fijamos en el género femenino. Sólo un 6% de las mujeres de la región poseen superficies de cultivo y todas ellas eran viudas. Culturalmente, la mujer no hereda la tierra de sus padres y son los hijos varones los que tienen derecho sobre éstas. Sólo en el caso de viudedad, esa tierra pasa a pertenecer a la mujer y serían los hijos varones de esta los que la trabajasen.

En referencia a la tierra, uno de los indicadores de la meta 1.4 es el de la seguridad jurídica de la posesión de estos terrenos. Si bien, ninguno de los agricultores entrevistados poseía ningún tipo de documento legal que le respaldase como legítimo dueño de su tierra, todos coincidían en considerar segura su propiedad. Este dato, se extiende a las fincas dedicadas a la vivienda. El único caso de propiedad reconocida y acreditada legalmente, fue el de la concesión de ciertos terrenos de cultivo que recibió la escuela de formación profesional construida por Child Future África.

El último indicador que se comentará, es el referente a la cantidad de personas que tienen acceso a recursos económicos o los servicios básicos. En este sentido, sí existen ciertas posibilidades de micro financiación y pequeños créditos para agricultura. Sin embargo, esta “oportunidad” es un arma de doble filo. La gran mayoría de los granjeros dedicados al tabaco, se endeudan en la época de siembra con empresas de fertilizantes o pesticidas. Éstas, entregan sus productos por adelantado además de una pequeña cantidad de dinero (100-150 dólares). Sin embargo, en el contrato se aseguran los ingresos por el transporte y la distribución del tabaco. Estos tratos tan beneficiosos para las empresas, empobrecen al agricultor a largo plazo por varias razones: 1) La cantidad de fertilizantes que necesitan cada temporada aumenta cada año debido a los daños que estos hacen a la tierra. 2) El precio del transporte que se les obliga a pagar es muy superior al que conseguirían agrupándose entre ellos. 3) Los intereses del préstamo ascienden hasta el 10% en algunos casos. Todo esto supone que, de su ingreso bruto anual, entre un 30 y un 40% termina en manos de estas empresas.

Aunque los datos históricos que ofrece el Banco Mundial muestran un importante crecimiento del PIB per cápita, los habitantes de todo el país coinciden en que su nivel de

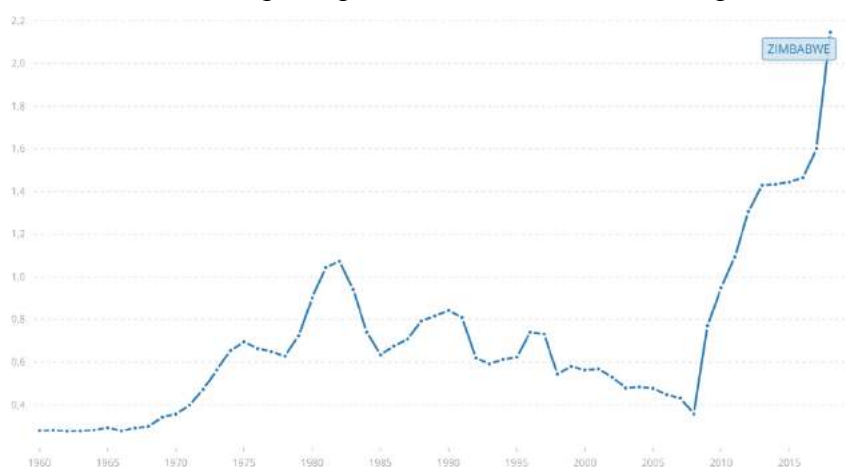


Tabla 8. Crecimiento del PIB per cápita en Zimbabwe desde 1960. Fuente: Banco Mundial

vida es el peor desde que recuerdan, mucho más difícil que en el 2009 tras la hiperinflación. Esta extraña situación en que el gasto general y el ingreso por exportación de un país crece, pero el nivel de vida de sus habitantes empeora día tras día; nos ofrece cierta luz

sobre la validez del PIB como indicador real del desarrollo económico de un país. En el



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

caso de Zimbabwe, esta dicotomía antagónica se debe probablemente a un aumento en la exportación de minerales que genera un ingreso al país, pero no se ve reflejada en el bolsillo del ciudadano medio. No es el objetivo de este trabajo el análisis profundo de esta paradoja, sin embargo, no puede ser pasada por alto.

En conclusión, los niveles de pobreza en Zimbabwe son alarmantes. Un país con una riqueza geológica y agrícola considerable, que vivió un tiempo de bonanza económica en los años 90 y primeros 2000, está el borde del colapso. La mala gestión de sus recursos, la corrupción política y unas políticas económicas equivocadas; han llevado a los habitantes de la antigua Rodesia a una situación de miseria y desesperanza.



OBJETIVO 2. PONER FIN AL HAMBRE, LOGRAR LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y LA MEJORA DE LA NUTRICIÓN Y PROMOVER LA AGRICULTURA SOSTENIBLE

El segundo objetivo para el desarrollo sostenible, trata de luchar contra la escasez de alimentos y prever una producción agrícola adecuada para poder dar de comer a los crecientes millones de habitantes que tiene nuestro planeta. Además, la ONU quiere promover el uso de métodos agrícolas sostenibles que eviten el uso de pesticidas y fertilizantes químicos que dañan la tierra a largo plazo y producen alimentos menos naturales.

En el caso de Zimbabwe, la principal fuente de alimentación es el maíz. La gran mayoría de los habitantes de las zonas rurales, tienen unos cuantos metros cuadrados de parcela reservados para la plantación y posterior autoconsumo de este cereal. Aunque la dieta que siguen es bastante repetitiva, el aporte de proteínas e hidratos de carbono que se obtiene del maíz, es suficiente para el desempeño de sus labores diarias. La Sadza, pasta hecha con harina de maíz y agua hirviendo, es el plato nacional. A veces acompañado de vegetales como repollo o soja y muy de vez en cuando algo de carne, supone la principal ingesta energética dos o tres veces al día.

En este sentido, la alimentación de Zimbabwe no se diferencia mucho del resto de países del África Subsahariana, puesto que este plato es común en muchos lugares. Sin embargo, las cosechas dependen fundamentalmente de las lluvias, lo que las hace muy irregulares en su tamaño. Es paradójico comprobar cómo un país que exporta más de mil millones de dólares anuales en tabaco sin procesar, necesita importar alrededor de 200 millones en productos básicos para la alimentación como maíz, arroz o trigo. Sin duda, el problema no deriva de la falta de tierra fértil o mano de obra, puesto que en los 90, bajo la guía de terratenientes ingleses, se llegó a producir el doble que en la actualidad. Durante este tiempo Zimbabwe era exportador agrícola a sus países vecinos, especialmente Mozambique y Zambia, sin embargo, tras la expropiación de terrenos (16.000 nuevos granjeros zimbabuenses se quedaron con lo que antes pertenecía a 400 terratenientes ingleses) La producción decayó considerablemente, siendo incapaz de alimentar al país.

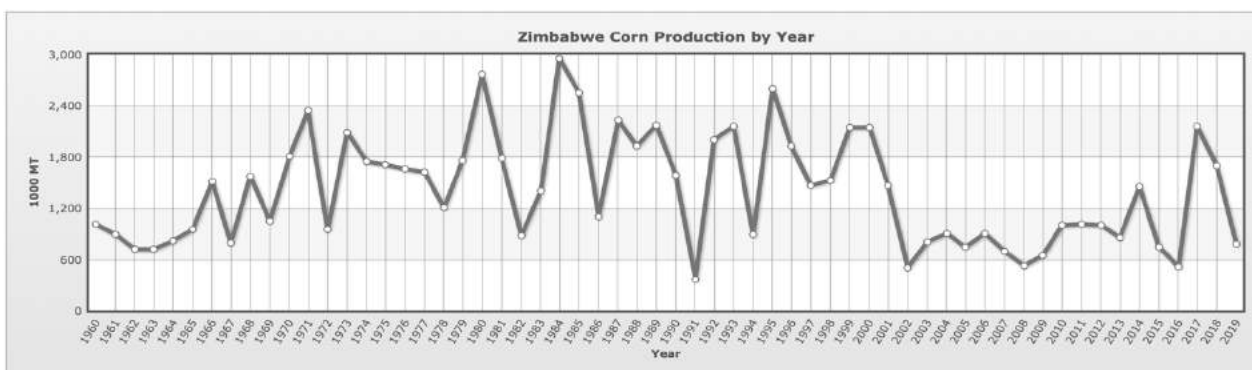


Tabla 9. Histórico de la producción nacional de maíz en miles de millones de toneladas. Fuente: Index Mundi



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Como se ha mencionado antes, la agricultura del tabaco es la principal fuente de ingresos de la zona. A penas existe otro modelo de agricultura comercial en esta zona del país. Por esto, todos los agricultores comerciales venden sus cultivos de tabaco a través del gobierno, puesto que es el único método legal de hacerlo. Son muy pocos, menos de un 10% los que venden los excedentes de su huerto a vecinos. En cualquier caso, esta actividad económica, que debería ser incentivada, representa ingresos muy pequeños, normalmente menos de 10 dólares al mes. La gran excepción a esta tendencia, se encuentra unos 100 km al sur de la región de Dotito. En el área de Mazowe, existen enormes plantaciones de naranjas destinadas al comercio. Y en el Noreste del país, existen grandes granjas de trigo o arroz, que venden sus productos al gobierno para que este los distribuya. Toda la gran producción agrícola, se gestiona a través de grandes mercados de grano regulados por el gobierno. Estos fijan un precio nacional, que varía regularmente dependiendo de la demanda, las necesidades o las calidades.

En la región de Dotito, el 92% de las familias tiene un campo de cultivo destinado al maíz, sin embargo, es mucho menos habitual el cultivo de otras frutas u hortalizas. Sólo el 22% de las personas entrevistadas poseía un huerto familiar destinado al cultivo de tomates, repollo, espinacas, calabaza o plátanos. Estas son las principales verduras que crecen en estas tierras y es sorprendente ver cómo muchas familias gastan parte de sus ahorros en comprar alimentos que podrían producir ellos mismos. Sin duda, esta es una de las principales preocupaciones de Child Future Africa que, mediante la construcción de un colegio de formación profesional, tratará de educar a los habitantes de la región en el cultivo comercial. Un proceso más sostenible que el del tabaco, que además de ser fuente de ingresos para la comunidad, les sirva como medio de alimentación habitual.

Es algo más común encontrar plantaciones de cacahuets, este fruto seco que crece bajo tierra es uno de los complementos favoritos de los granjeros de la Zona. Es un alimento fácil de plantar y que se conserva relativamente bien, ya sea en su cáscara como hecho mantequilla. Algunos vecinos de la zona (43%), dedican pequeñas porciones de tierra a su cultivo. El alto aporte proteico y la gran cantidad de calorías que contiene, convierte al cacahuete en una gran alternativa para este tipo de entornos.

Uno de los indicadores que nos acercan a un futuro más sostenible es el de el número de granjeros que practican una agricultura ecológica. Esta se define como la agricultura que no utiliza agregados bioquímicos a las plantaciones para aumentar la producción o evitar plagas. Un estudio llevado a cabo por la Food and Agriculture Organization de la ONU, más conocida como FAO; concluyó que el uso de fertilizantes y plaguicidas son la principal fuente de contaminación de aguas subterráneas. El estudio señalaba la infiltración de elementos nitrogenados o fosfatos como una de las principales causas de eutrofización de lagos o embalses. Además, la volatilización derivada del uso en exceso de este nitrógeno, es una fuente de contaminación del aire. Por último, el uso de este tipo de compuestos, es muy perjudicial para la tierra en el largo plazo puesto que la acidifica. Muchos granjeros sin formación, responden a esta pérdida de nutrientes y propiedades del suelo utilizando más cantidad de fertilizantes químico. El evidente daño ambiental producido por estos agentes bioquímicos, ha llevado a muchos países, empresarios y pequeños productores rurales a apostar por una agricultura más orgánica, elaborando compost naturales ya estabilizados que alargan la vida de la tierra y reducen el coste de la producción. Lamentablemente, Zimbabwe no es de estos países y todos los productores



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

grandes o pequeños, utilizan refuerzos químicos para el cultivo. De las 39 personas que fueron preguntadas, ninguna pudo definir con precisión qué era la agricultura ecológica. En escuelas de agricultura, se fomentan las practicas ya asentadas y conocidas, la elaboración de compost no es habitual y sólo un 8% de las personas entrevistadas lo había preparado para este año. El único fertilizante natural que utilizan o conocen, es el excremento de vaca, que esparcen directamente sobre sus cultivos. Este, puede ser útil por proporcionar un aporte de materia orgánica que alimenta a las plantas, sin embargo, al no estar estabilizada, puede requerir un gasto energético extra del suelo o contener patógenos dañinos para los alimentos.

Uno de los proyectos llevados a cabo, del que se hablará más adelante es el de fomentar la agricultura ecológica mediante la elaboración de fertilizantes naturales y compost. La creación de pequeños huertos ecológicos comunitarios, especialmente destinados a las mujeres, puede ser una gran oportunidad para revertir esta tendencia tan dañina.

En cuanto a los animales de granja, es común encontrar pequeños corrales cercanos a las casas, en general con pollos o gansos. El 85% de las familias, posee algún animal, siendo los más valiosos las vacas pues éstas les ayudan en el trabajo del campo. La tabla siguiente recoge los datos sobre el tipo de animal y la cantidad de estos que poseen los habitantes de las aldeas cercanas a Dotito.

FAMILIAS CON ANIMALES DE GRANJA	85%
FAMILIAS CON AVES DE CORRAL	82%
FAMILIAS CON GANADO CAPRINO	22%
FAMILIAS CON GANADO PORCINO	2%
FAMILIAS CON GANADO BOVINO	67%
FAMILIAS CON GANADO EQUINO	0%
FAMILIAS CON GANADO OVINO	0%

Tabla 10. Animales de granja en la región de Dotito. Fuente: el Autor



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Sin embargo, aunque es habitual la posesión de animales como vacas y cabras, es muy poco habitual que estos supongan una fuente de ingresos para sus dueños. La raza de vaca habitual en la zona, no produce leche y tiene una carne recia y dura. Por lo que la producción de alimentos lácteos o la venta directa de carne es prácticamente inexistente.



Ilustración 3.. Animales de tiro habituales en la zona. Fuente: Ignacio Moldenhauer

En el caso de las cabras, tampoco se utilizan para la producción de queso o leche. El único caso de ingreso de estos animales es la cría y venta de los mismos. Mientras que lo más habitual era tener 2 cabezas bovinas útiles para el la ayuda del labrado, existían dos familias de la zona con más de 60. Éstas dos, fueron las únicas que respondieron tener ingresos considerables debido a la ganadería. El precio de una vaca joven, ronda los 200 dólares, por lo que un negocio así en un entorno rural, es una gran alternativa.

En cualquier caso, aunque la experiencia en el terreno no diese a entender que los problemas de desnutrición puedan ser especialmente duros en Zimbabwe, las estadísticas a nivel nacional, las previsiones de la ONU y el testimonio de las personas nos dicen lo contrario:

- Más del 40% de las personas entrevistadas han sufrido escasez de alimentos, especialmente en 2008 y 2016. Además, un 48% considera el hambre como una de sus grandes preocupaciones para los próximos años.
- Un reciente informe de la ONU a través del Programa Mundial de Alimentos, a situado a Zimbabwe como uno de los lugares con mayor riesgo de inanición del mundo. Hizo una petición de 331 millones de dólares para combatir esta crisis que puede afectar a más de cinco millones de personas.
- En 2019 la cosecha de marzo fue muy escasa y muchas familias tuvieron que utilizar las reservas que conservaban en años anteriores. El ciclón que afectó al sureste del país a principios de año sumado al segundo año de sequía consecutivo, pueden dañar mucho la cosecha de este año y tener consecuencias dramáticas para la población.



OBJETIVO 3. GARANTIZAR UNA VIDA SANA Y PROMOVER EL BIENESTAR PARA TODOS EN TODAS LAS EDADES

El tercer objetivo, trata de un aspecto complejo y de difícil estudio en un trabajo como este, que no se centra en el servicio médico u hospitalario. En este sentido, se comentarán brevemente algunos aspectos interesantes que puedan ofrecer un punto de vista a quien quiera acercarse al problema. En general los entrevistados no tuvieron problema en responder todo tipo de preguntas, sin embargo, temas referentes a la salud, natalidad o planificación familiar son muy difíciles de tratar, especialmente con las mujeres.

Muchas de las metas e indicadores que aparecen en este objetivo, se refieren a la tasa de mortalidad por diferente tipo de enfermedades, agentes externos o falta de atención médica. Ninguna de estos datos ha podido ser recogido: 1) Por la falta de conocimiento de la causa de muerte de familiares. 2) Por la dificultad de encontrar personas dispuestas a hablar sobre este tema concreto.

En cualquier caso, existen muchos datos a cerca de dos de las enfermedades cuyo estudio es considerado relevante por la ONU, la malaria y el VIH.

En el caso del VIH, los datos recogidos por el comisionado de Naciones Unidas dedicado al estudio del SIDA, ONUSIDA son los siguientes:

- 1,3 millones de personas padece VIH en un país con 16 millones de habitantes, esto supone que un 12,7% de los adultos entre 15 y 49 años sufre del virus.
- En 2018 se contagiaron de VIH 38.000 personas, 24.000 menos que en 2010.
- El 90% de los contagiados son conocedores de su deficiencia y un 88% recibe tratamiento, aunque este dato se reduce en el caso de menores de 14 años.
- 22.000 personas murieron por causas derivadas de la enfermedad, un 60% menos que ocho años atrás.
- Las mujeres padecen más esta infección alrededor de un 61% de los infectados son mujer.
- Sólo el 44% de lo encuestados por ONUSIDA fueron capaces de determinar correctamente todas las formas de transmisión y sus métodos de prevención.

En referente al VIH, los pocos datos que se pudieron recoger en terreno, fueron referentes a su prevención. Más del 95% de las personas entrevistadas conocía el preservativo como principal método para evitar el contagio y señalaban las relaciones sexuales como principal factor de riesgo para el contagio. La gran mayoría lo había aprendido en el colegio. Además, los preservativos son de los pocos servicios que pueden obtener gratuitamente en un hospital. Sin embargo, sólo el 31% de los los habían usado alguna vez y un 12% los utilizaba con frecuencia.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

En cuanto a la malaria, también nos encontramos en un entorno de alto riesgo. En Zimbabwe, según los datos recogidos por la World Health Foundation en su Malaria report de 2017, 114.2 de cada mil personas padece la enfermedad transmitida por el mosquito *palsmodium*.

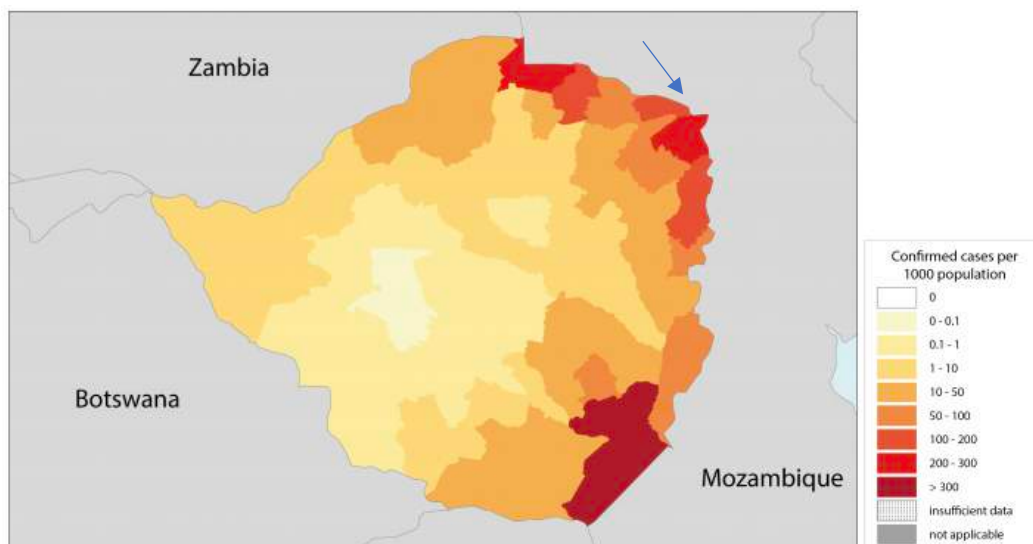


Tabla 11. Casos confirmados de malaria por cada mil habitantes en las distintas regiones de Zimbabwe. Fuente: World Health Foundation

Como se muestra en este mapa, Dotito se encuentra en una de las zonas de alto riesgo dentro del país. Durante los meses que se desarrolló el proyecto, era difícil notar la presencia de mosquitos, sin embargo, en los meses de noviembre a enero, en los que la

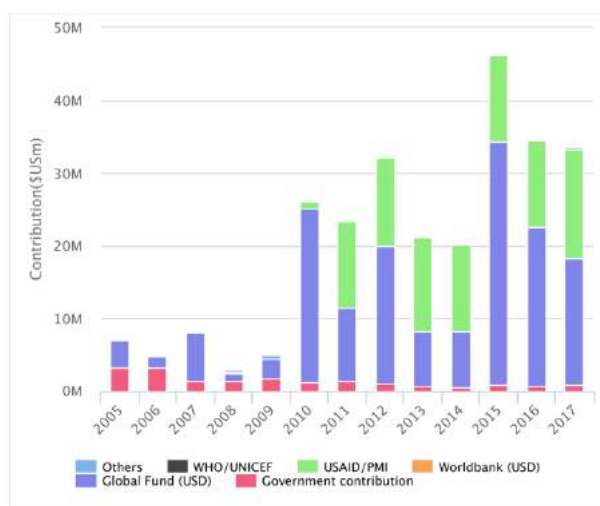


Tabla 12. Financiación de métodos de lucha contra la malaria. Fuente World Health Foundation

temperatura sube considerablemente y el ambiente es mucho más húmedo, los casos de malaria se disparan. Existen diferentes organizaciones no gubernamentales que prestan asistencia a estas zonas, especialmente con el rociado de repelentes de mosquitos en casas, escuelas y tiendas. Además, el tratamiento de la malaria, consistente fundamentalmente en suero para evitar la deshidratación se encuentra disponible en hospitales y clínicas públicas de manera gratuita. Aunque como se puede ver en este gráfico, el gobierno financia una ínfima parte de la necesaria para afrontar el problema.

Aunque el esfuerzo internacional para reducir la malaria ha conseguido reducir más de un 50% los casos de contagio desde 2014, un 35% de la población de Zimbabwe sigue viviendo en zonas de alto riesgo de transmisión. Gracias al esfuerzo internacional, se ha reducido la mortalidad de los infectados de 22 de cada 1000 casos en 2012 a 10/1000 en la actualidad.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Más allá de estas enfermedades tan extendidas en Zimbabwe, la escasez de recursos sanitarios existentes en el área de Dotito resulta evidente. En el pueblo de Dotito, existe una clínica gratuita que no dispone de un médico titulado. En ella, dos enfermeros atienden partos, hacen primeras consultas y revisiones, además reparten únicamente aspirinas y preservativos. Si el paciente requiere de atención médica más precisa, debe desplazarse unos 30 km hasta el hospital más cercano. Este hospital que cuenta con dos médicos titulados y una ambulancia es el centro de referencia para unas 180.000 personas. La evidente incapacidad para atender a todos los pacientes sumada al hecho de que una visita cuesta 10 dólares americanos (en un hospital supuestamente público), hacen muy difícil la asistencia médica cualificada. De hecho, más del 70% de las personas preguntadas calificaron de imposible, difícil o muy difícil acudir a un hospital.

Sólo una de cada diez personas toma medicamentos habitualmente y la causa principal es que los consideran inaccesible. Por otro lado, es importante decir que sólo 6 de cada 100 partos recientes no tuvieron asistencia médica gratuita. Además, todos los entrevistados menores de 50 años, independientemente de su sexo, fueron vacunados al nacer, aunque casi ninguno recuerda de qué.

Como conclusión en este aspecto, basta destacar que la atención y los servicios sanitarios públicos que ofrece el gobierno de Zimbabwe, son claramente insuficientes y deficientes. Sólo gracias a la ayuda internacional que se centra en problemas concretos, se ha conseguido avanzar en materia de salud y bienestar.



OBJETIVO 4. GARANTIZAR UNA EDUCACIÓN INCLUSIVA, EQUITATIVA Y DE CALIDAD Y PROMOVER OPORTUNIDADES DE APRENDIZAJE DURANTE TODA LA VIDA PARA TODOS

Elaborar un informe con buen contenido sobre el estado de la educación en la región de Mt. Darwin, era uno de los objetivos más importantes de este trabajo. La educación es un bien fundamental y la herramienta más importante para que cualquier persona, independientemente de su origen, sexo o creencia pueda prosperar. Cuando las Naciones Unidas elaboraron la Agenda 2030, describieron diferentes metas relacionadas con la educación, se centraron en los niveles en materias como matemáticas y lectura, en los niños de determinados cursos, así como la formación recibida por la población media. Además, se evaluaba el nivel formativo de los profesores como un elemento a tener en cuenta. Por último, se cuantifican las diferentes ayudas y becas recibidas.

Para hacer este estudio, se han entrevistado a familias, profesores y niños de tres colegios diferentes, dos de primaria y uno de secundaria. Durante el tiempo que duraron las entrevistas se conoció en mayor profundidad del sistema educativo, sobre el que se comentarán los factores más importantes. A recomendación de algunos expertos en la materia, también se recopiló información sobre la metodología educativa, la decoración de las clases y el tipo de relación entre profesores y alumnos.

El sistema educativo en Zimbabwe, se estructura de la siguiente manera:

- Educación primaria. Obligatoria 5-12 años.
- Educación secundaria. 12-18 años. Siendo los dos últimos opcionales. Los alumnos que terminan con 16 años, preparan un examen de carácter nacional conocido como Ordinary Level, en el que eligen cuatro asignaturas de su formación. Aquellos que continúan con su formación hasta los 18, pueden elegir la rama en la que especializarse y sólo cursarán tres o cuatro asignaturas de la rama que elijan. Después, se presentan al Advanced Level, examen nacional que da acceso a la universidad.
- Formación profesional en escuelas superiores o “Colleges”. Se puede acceder con o sin el O-Level, aunque tienen preferencia los que lo tienen. Algunos estudios que se pueden cursar son: fontanería, magisterio, mecánica, agricultura, enfermería, contabilidad...
- Formación universitaria. Sólo se puede acceder a ella con el A-level. Tiene un coste de unos 160 USD por semestre. Las carreras suelen durar 4 ó 5 años. Algunas de ellas son: ingenierías, derecho, medicina, economía...

En la región de Dotito, es prácticamente imposible encontrar ciudadanos con estudios universitarios, pues la mayoría de los que obtienen ese nivel de estudios, trabaja en Harare o emigra. No era habitual, pero tampoco resultaba extraño (en torno a un 8%), encontrar a personas con estudios superiores. Bien es verdad que la mayoría de ellos eran los profesores de las escuelas, por lo que ese porcentaje no es muy fiable. Además de estos, se podían encontrar enfermeras, policías y algún mecánico.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

En cuanto a la tasa de personas con educación primaria, alrededor de un 50% de las mujeres adultas habían abandonado el colegio antes de acabar la secundaria, proporción que se reducía considerablemente (menos del 20%) en los hombres.

El plan de estudios a nivel nacional, dirige el contenido de las asignaturas y edita los libros de texto para los colegios públicos. Las asignaturas, que se imparten en clases de 30 minutos, (cinco por la mañana y cinco después del almuerzo) son las mismas durante toda la primaria y son las siguientes:

- Ciencia y tecnología*
- Shona
- Matemáticas**
- Inglés**
- Agricultura**
- Religión y moral**
- ITC (Informática)**
- Educación física
- SIDA y salud.
- Educación artística
- Música

Aunque estas son las asignaturas oficiales, la verdad es que muchas no se imparten, en gran medida por falta de recursos. Sólo se dispone de libro de las asignaturas marcadas con un asterisco, significando el doble asterisco que la cantidad de libros es muy inferior al número de alumnos. En otros casos, como música o arte, a penas existen recursos como instrumentos musicales o cualquier dispositivo para reproducir audio, por lo que los profesores están muy limitados a la hora de impartir sus lecciones.

Dentro de la miseria, el gobierno suele proporcionar corriente eléctrica a los colegios, aunque esta esté disponible muy pocas horas al día. Dos de los tres colegios que se visitaron disponían de agua corriente y en el tercero, el de primaria de Kazai, fue instalada por CFA este verano. Todos los alumnos utilizan uniforme, que no está subvencionado y cuesta alrededor de 8 USD. El precio del trimestre es de unos 4 USD por niño. El curso se compone de tres trimestres con un mes de vacaciones entre cada uno.



Ilustración 12. Los niños de Kazai Primary School. Fuente: Miren Talleira.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

La metodología de enseñanza, es bilingüe. Los profesores hablan en inglés y acto seguido repiten lo que han dicho en Shona. Esta metodología no es muy buena, ya que el nivel de inglés en el colegio de primaria es muy bajo. Se utiliza mucho la repetición para enseñar, las respuestas a coro y los ejercicios individuales. En el interior de las aulas, suele haber carteles con palabras en inglés y sus dibujos (animales, aspectos de la cultura africana u objetos de la agricultura). Además, en todas las clases se pueden ver las tablas de multiplicar colgadas por las paredes y el techo, por lo que muchos niños buscan la respuesta en los muros en vez de pensar la respuesta. La media por clase es de unos 45 niños, habiendo 600 para 13 profesores en el colegio de primaria de Kazai.

Los datos recogidos sobre el nivel de inglés son los siguientes:

Nivel de inglés				
		3er grado (7-8 años)	7º grado (11-12 años)	Secondary (14-16 años)
Comprensión verbal	Ninguna	24%	12%	4%
	Muy pocas palabras (Muy poca comunicación)	68%	58%	44%
	Algunas palabras (Comunicación sencilla)	8%	22%	42%
	Bastantes palabras con fluidez (Buena comunicación)	0%	8%	10%
	Perfecta comunicación	0%	0%	0%
Expresión verbal	Ninguna	28%	14%	4%
	Muy pocas palabras (Muy poca comunicación)	68%	56%	44%
	Algunas palabras (Comunicación sencilla)	8%	24%	42%
	Bastantes palabras con fluidez (Buena comunicación)	0%	6%	10%
	Perfecta comunicación	0%	0%	0%
Comprensión escrita	Ninguna	22%	8%	4%
	Muy pocas palabras (Muy poca comunicación)	60%	40%	32%
	Algunas palabras (Comunicación sencilla)	18%	42%	60%
	Bastantes palabras con fluidez (Buena comunicación)	0%	10%	12%
	Perfecta comunicación	0%	0%	0%
Expresión escrita	Ninguna	24%	8%	4%
	Muy pocas palabras (Muy poca comunicación)	60%	40%	32%
	Algunas palabras (Comunicación sencilla)	16%	32%	50%
	Bastantes palabras con fluidez (Buena comunicación)	0%	20%	14%
	Perfecta comunicación	0%	0%	0%

Tabla 13. Niveles de inglés entre escolares. Fuente: propia.

El bajo nivel de inglés en un país, donde esta es la lengua usada en las universidades y en los negocios, es preocupante. Estos niveles se extienden también al resto de la población rural de Mt. Darwin. Es importante señalar que el nivel de inglés de los mayores de 50 es, por lo general, mucho más alto que el de los más jóvenes. También hay una clara diferencia por sexo.

Niveles de inglés entre adultos:	Hombres	Mujeres
Comprensión verbal	16%	24%
	24%	28%
	45%	32%
	10%	10%
	5%	6%
Expresión verbal	16%	24%
	24%	28%
	45%	32%
	10%	10%
	5%	6%

Tabla 14. Niveles de inglés en el resto de la población. Fuente: propia.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

En cuanto al nivel en matemáticas, tampoco es demasiado alto. En la siguiente tabla se recogen los datos obtenidos sobre diferentes las habilidades matemáticas en cada uno de los cursos.

Prueba de nivel en matemáticas				
		3er grado (7-8 años)	7º grado (11-12 años)	Secondary (14-16 años)
Sumas y restas sencillas (4+8)	No saben resolver	9%	2%	0%
	Resuelven con dificultad y se equivocan a veces	54%	16%	0%
	Dominan y no se equivocan	47%	82%	100%
Sumas y restas complejas (127+94)	No saben resolver	14%	4%	0%
	Resuelven con dificultad y se equivocan a veces	72%	32%	6%
	Dominan y no se equivocan	14%	64%	94%
Multiplicaciones y divisiones sencillas (7x3, 12/4)	No saben resolver	40%	8%	0%
	Resuelven con dificultad y se equivocan a veces	55%	32%	12%
	Dominan y no se equivocan	5%	60%	88%
Multiplicaciones y divisiones complejas (21x58, 136/13)	No saben resolver	62%	12%	2%
	Resuelven con dificultad y se equivocan a veces	36%	72%	65%
	Dominan y no se equivocan	2%	16%	37%
Reconocen formas geométricas (en Inglés)	No saben resolver	32%	8%	0%
	Resuelven con dificultad y se equivocan a veces	14%	8%	0%
	Dominan y no se equivocan	54%	64%	100%
Resuelven sistemas y ecuaciones de primer grado.	No saben resolver	100%	100%	50%
	Resuelven con dificultad y se equivocan a veces	0%	0%	46%
	Dominan y no se equivocan	0%	0%	4%
Saben operar ángulos	No saben resolver	92%	52%	32%
	Resuelven con dificultad y se equivocan a veces	8%	40%	52%
	Dominan y no se equivocan	0%	8%	16%
Dominio de números complejos	No saben resolver	100%	100%	100%
	Resuelven con dificultad y se equivocan a veces	0%	0%	0%
	Dominan y no se equivocan	0%	0%	0%
Saben derivar e integrar	No saben resolver	100%	100%	90%
	Resuelven con dificultad y se equivocan a veces	0%	0%	10%
	Dominan y no se equivocan	0%	0%	0%

En cuanto al profesorado, fue evidente la falta de motivación que mostraban. Nueve de cada diez decían estar poco o muy poco motivados en su trabajo y más de la mitad cambiarían de trabajo si pudiesen. Las razones que dieron para esta escasa energía fueron las siguientes:

- Nivel de salario muy bajo (En torno a 45 USD/mes).
- Falta de recursos educativos.
- Bajo nivel académico de los alumnos.
- Tasas de abandono e inasistencia a clase.

Esta última razón, fue toda una sorpresa. Preguntando entre los profesores y haciendo una media entre sus respuestas, se llegó a estimar los siguientes datos de asistencia a clase:



Tabla 15. Datos estimados de asistencia a clase. Fuente: propia

Como puede observarse, la cantidad de faltas mensuales es un enorme problema. Es prácticamente imposible educar a un niño que falta la mitad de las veces a la escuela. Este, sin duda es un problema de las familias, que ponen por delante otras prioridades a la educación de sus hijos. Cuando algunas de ellas fueron preguntadas, las tres razones que más se repitieron fueron:

- El niño/a tiene que andar varios km para ir a clase.
- Mi hijo/a no aprende nada en ese colegio.
- Durante las siembras y cosechas debe aprender a trabajar la tierra con su padre.

En conclusión, la calidad educativa en las áreas rurales de Dotito es bastante mala. Las estadísticas fueron ligeramente mejores en el colegio del pueblo de Dotito, sin embargo, la situación es preocupante a todas luces.



OBJETIVO 5. LOGRAR LA IGUALDAD ENTRE LOS GÉNEROS Y EMPODERAR A TODAS LAS MUJERES Y LAS NIÑAS

El quinto ODS, busca acabar con todo tipo de desigualdades, discriminaciones o injusticias derivadas de la condición sexual. La trata, la prostitución infantil o forzada o la mutilación genital; son las mayores atrocidades que se cometen hoy en día contra mujeres y niñas en todo el mundo.

En este sentido, no se puede decir que las mujeres de Zimbabwe hayan alcanzado el mismo estatus que los hombres, pero al menos no son objeto de estas atrocidades enumeradas anteriormente. Al menos en las zonas rurales, no es habitual encontrar ninguna de estas actividades y las mujeres de la zona no consideran estos males como sus preocupaciones.

El modelo de familia de Zimbabwe, tiene en la mujer su centro. Culturalmente, es la encargada de la economía del hogar, por lo que suelen encargarse de los ahorros, los pagos y todo lo que tiene que ver con la mantención de la casa y los niños. En las comunidades, la mujer tiene un protagonismo muy alto a la hora de tomar decisiones, especialmente en las agrupaciones cristianas. Sin embargo, existen algunas injusticias culturales importantes y deben ser destacadas:

- Menos de un 15% de las mujeres de la región tienen ingresos propios.
- Las mujeres carecen de derechos para heredar tierras, sólo lo hacen cuando enviudan.
- El nivel de mujeres con la educación terminada es considerablemente menor que el de hombres. Sin embargo, hay más mujeres universitarias.
- La poligamia es legal en Zimbabwe y está culturalmente bien vista. Alrededor de un 15% de las familias de las aldeas de Dotito eran polígamas. La segunda razón más repetida entre los hombres para no desposarse por segunda vez era económica.
- La tasa de mujeres con móvil y conexión a internet es un 5% más bajo que el de hombres.
- La homosexualidad es ilegal y está penada con prisión en Zimbabwe.

Zimbabwe es un país donde las mujeres todavía tienen mucho recorrido hasta su empoderamiento. Sin embargo, muchos de estos aspectos, como la poligamia o los derechos de los homosexuales; no están recogidos como indicadores en la Agenda 2030.



OBJETIVO 6. GARANTIZAR LA DISPONIBILIDAD DE AGUA Y SU GESTIÓN SOSTENIBLE Y EL SANEAMIENTO PARA TODOS

Las metas que persigue el objetivo 6 de las naciones unidas, están un poco por encima de las posibilidades actuales de la región estudiada. Estas, hablan sobre el control de la calidad del agua, el tratamiento de las aguas residuales o la gestión de las fuentes de agua.

En las aldeas que rodean Dotito, no existe ningún tipo de control de calidad del agua. Las bombas manuales tienen más de 30 años de antigüedad y sacan agua de pozos de profundidades entre 40 y 80 metros dependiendo de la zona. Esta agua es transportada y almacenada en cubos de plástico de 20 litros. Aunque no ha salido de una ETAP, el agua es clara y tiene un pH neutro. Además, no parece contener patógenos puesto que un hombre blanco no habituado a su ingesta, bebió durante semanas de estos pozos sin ningún tratamiento, ni consecuencia para la salud. La distancia media entre los pozos y las casas es de unos 750m, encontrándose una fuente como mucho cada 3km, por lo que las familias más desafortunadas tienen que caminar 1,5 km para obtener agua. Es común ver carros tirados por animales cargados de cubos llenos de agua.



Ilustración 13. Pozo con bomba manual. Fuente: propia.

Esta escasez de puntos de agua cercanos y disponibles, limita mucho las posibilidades de los habitantes de la zona. Sin agua corriente, es muy difícil crear plantaciones que no dependan de la lluvia. Las únicas, se encuentran cerca de los escasos ríos o son de pequeño tamaño.

En cuanto al saneamiento, el 99% de las personas tiene una letrina en casa, aunque nadie tiene agua corriente para tratar sus desechos. Lo habitual es encontrar letrinas secas con ventilación, que simplemente almacenan heces y orina hasta que esta se va descomponiendo. Sistemas como los de letrina móvil y plantación de árboles en las fosas sépticas podrían ser interesantes. Sin embargo, las letrinas están mayoritariamente construidas en ladrillo, por lo que ese sistema hoy por hoy debe quedar descartado. Aunque no es la solución idónea, es un paso adelante comparado con la deposición a la



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

intemperie, muy habitual en otras zonas. Esta es peligrosa, porque la falta de control sobre los desechos humanos, facilita mucho la contaminación de aguas y por tanto el contagio de enfermedades como el cólera o la fiebre amarilla.



Ilustración 14. Tradicional forma de transportar el agua en la cabeza. Fuente: el autor.

Otro de los aspectos estudiados en la Agenda 2030 es el uso de jabón. Este tema, que puede parecer nimio, es muy importante a la hora de prevenir el contagio de enfermedades que pueden llegar a ser mortales.

En la zona de estudio, era poco habitual encontrar pastillas de jabón. Sólo un 5% de las personas que fueron entrevistadas, utilizaban jabón dos o más veces al día. La gran mayoría de los entrevistados, alrededor del 70%, reconoció usar el jabón alguna vez, pero menos de tres veces por semana. Esta tendencia es peligrosa, ya que es una cultura que acostumbra a comer con las manos.

En conclusión, queda mucho por hacer para poner a Dotito en los estándares marcados por las Naciones Unidas.



OBJETIVO 7. GARANTIZAR EL ACCESO A UNA ENERGÍA ASEQUIBLE, SEGURA, SOSTENIBLE Y MODERNA PARA TODOS

El último ODS estudiado en este trabajo, es el relativo al acceso a la energía. Las metas marcadas por este punto, son relativas a garantizar la existencia de red eléctrica en el máximo número de hogares posibles. También se tiene en cuenta qué porcentaje de esta energía se obtiene de fuentes renovables y evalúa la ayuda del gobierno para ello.

Zimbabwe es un país con escasez energética, el 90 % de su producción de energía proviene de dos fuentes diferentes. La estación térmica de Hwange, con 920MW de potencia instalados cuya fuente de energía es el carbón y la estación hidroeléctrica de la presa de Kariba, con 750 MW de potencia instalados.



Ilustración 15. Estación térmica de Hwange. Fuente: Construction Review Online.



Ilustración 16. Presa de Kariba. Fuente: Banco Mundial



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Además de los cortes de luz, habituales en Harare y permanentes en zonas más rurales; existe una escasez importante de gasolina y diésel. Todo el combustible tiene que ser importado a través del gobierno. Dada la invalidez internacional del Bond, es muy difícil recaudar dólares como para adquirir gasolina. Durante las estancias en Harare se registró el número de gasolineras abiertas en varios días diferentes. De las 112 veces que se comprobó si alguna de las gasolineras estaba abierta y disponía de combustible, sólo 34 de ellas lo estaba. Es habitual ver grandes filas de coches esperando para repostar, el precio de la gasolina se multiplicó por dos en el tiempo de duración de este trabajo. Además, es común encontrar un mercado negro de gasolina que multiplica por dos el precio de las gasolineras.



Ilustración 17. Fila de coches esperando a repostar. Fuente: propia.

En el área de Dotito, sólo la escuela de primaria de Kazai las casas que la rodean, disponen de corriente eléctrica. Sin embargo, esta está disponible muy pocas horas al día. Habitualmente 3 ó 4 horas, generalmente de madrugada. Sólo un 4% de las personas del área disponían de electrodomésticos, siendo neveras en todos los casos.

Por otro lado, existe bastante nivel de autogeneración solar. Un 45% de las familias dispone de un pequeño panel solar generalmente de entre 55W y 80W. Normalmente, se conectan a baterías de coche. Los usos más habituales de estos paneles son la carga de móviles, la iluminación y en algunos casos el uso de equipos de música.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Aunque no se han descrito todos los ODS, a continuación, se ofrecen algunos datos relevantes sobre algunos aspectos recogidos por los diez objetivos siguientes.

- El tratamiento de residuos en todo el país es de pésima calidad. Esta mala gestión se agudiza en las comunidades rurales donde no existe ningún tipo de servicio de recogida de basuras. A la hora de tratar sus residuos, un 14% de los entrevistados los enterraron, un 50% los quemaba y el 36% restante simplemente los tira por los alrededores de su casa. La presencia de plástico, tanto en las ciudades, como en las comunidades rurales comienza a ser un problema.



Ilustración 18. Basura en las calles de Harare. Fuente: propia.

- La deforestación, es un problema muy grande, especialmente en los entornos rurales donde se cultiva tabaco. Dado que esta es la única fuente de energía utilizada para cocinar, calentar agua y secar tabaco. Además, la escasa educación ambiental de los agricultores, les lleva a no repoblar las zonas taladas.



Ilustración 19. Madera preparada para el secado de tabaco. Fuente: propia.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

- Otro problema para la conservación ecológica es la quema de campos. Esta técnica es habitual y muy extendida en todo el país. Se utiliza para acabar con malas hiervas y evitar plagas de roedores que ataquen las siembras. El daño ecológico producido es inmenso.



Ilustración 20. Campos ardiendo quemados por el hombre. Fuente: propia.



2.4 El biogás como respuesta a la situación de Zimbabwe

Como se puede deducir de todos los datos ofrecidos anteriormente, el biogás puede ser una gran oportunidad para Zimbabwe. En la siguiente lista, se repiten algunos de los factores que más pueden influir para ello:

La principal economía del país es la industria agroindustrial. → **Mucha materia prima.**

La pobreza asola el país y a los granjeros. → **Posible fuente de ingresos.**

Gran escasez de fuentes de energía y combustibles → **Energía renovable y autogenerada.**

Deforestación producida por la tala descontrolada y sin planificación. → **Alternativa sostenible.**

Gran dependencia de la importación de energía. → **Empoderamiento energético.**

Nivel de paro y falta de labores diarias. → **Mano de obra con ganas de emprender**

Saneamiento de pésima calidad. → **Destino seguro para los residuos orgánicos.**

Algunos casos de éxito relevantes que pueden servirnos de guía son:

Proyecto MyClimate. Áreas rurales de India.

El proyecto myclimate, ha instalado más de 6000 digestores domésticos por diferentes áreas rurales de India. Hasta ahora, el proyecto co-financiado por empresas donantes y los propios beneficiarios, ha logrado dar empleo a 87 indios y ha formado a miles de personas en el uso del biogás. Se han alcanzado los siguientes objetivos.



44,000

people benefit from better air



6,400

biodigesters installed



6.2

t CO₂ and 5.4 t wood avoided per biodigester

Ilustración 21. Beneficios del proyecto MyClimate . Fuente: MyClimate



Sistema Biobolsa Mexico-Kenia

El grupo Sistema.Bio, es uno de los casos de éxito más grandes en este campo. La empresa fundada en Mexico hace menos de 15 años ha sido galardonada con más de 6 premios de reconocimiento internacional en referencia a su contribución a la sostenibilidad energética. Presentes en tres continentes, ofrecen soluciones para hogares, empresas y granjas. Más de 60 empleados en todo el mundo. Sus datos hablan por sí solos:



Ilustración 22. Impacto de la empresa Sistema.Bio. Fuente: Sistema.Bio .

Grupo San Ramón en Valencia.

Dedicado a la cría industrial de ganado vacuno que producía 45.000 toneladas de ganado vacuno al año unas 5000 vacas. Tras la instalación de una pequeña planta de generación de biogás, obtuvo los siguientes beneficios:

- Generación anual de energía equivalente a 850 toneladas de petróleo.
- Generación de 4.000.000 kWh / año (electricidad verde).
- Energía eléctrica y térmica equivalente para 307 viviendas.
- Reducción de emisiones de 2.808 t CO2.
- Reciclado de los digestatos en parcelas agrícolas próximas a la granja según plan de gestión a medida

•

** Datos tomados de Ainia.com



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez



3. La tecnología del biogás.

3.1 Los productos de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia es el nombre del proceso de descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Es un método realmente útil para la valorización de residuos orgánicos que, tras un tratamiento relativamente sencillo, estos pueden ser utilizados como fuente de energía o abonos. El proceso lo desarrollan multitud de bacterias de diferentes clases, además es una reacción altamente eficiente. Más del 90% de la energía de oxidación es transformada en metano y solamente un 10% se dedica al crecimiento de estas. Existen dos procesos diferentes involucrados en la digestión anaerobia.

El proceso conocido como fermentación anaerobia, consiste en la catabolización de los residuos orgánicos. Al no existir un dador de electrones la materia orgánica en descomposición actúa como fuente y destino de estos. Simplificando mucho, se podría decir que la materia orgánica se descompone a sí misma pues no tiene otras fuentes de energía.

La respiración anaerobia, como es conocido el otro proceso, denomina a la reducción de monosacáridos a través de procesos de oxidación. La gran diferencia con la fermentación, es la existencia de una cadena transportadora de electrones. Esto significa que existen moléculas que recogen y transportan los electrones para reaccionar más adelante y formar así metano.

La fermentación, es la parte más importante de la digestión ya que supone la producción del 70% del metano resultante. El otro 30% proviene de la respiración

Como resultado de la digestión anaeróbica, existen dos productos principales:

- Bioabono: tras haberse consumido gran parte de la materia orgánica presente en las materias primas originales, el resultante es un efluente estabilizado. El contenido en nitrógeno y amonio es relativamente alto, puesto que esta materia ha mineralizado. La madurez, la estabilidad biológica o el origen de este, pueden determinar en gran medida cual es su uso adecuado.

La instalación de biodigestores en ambientes rurales, ayuda a la fácil utilización de este abono ecológico con diferentes fines. Los principales usos del bioabono son: acondicionador que favorece el desarrollo de organismos favorables al crecimiento vegetal, la recuperación de suelos áridos o degradados, biofertilizante aplicado directamente sobre los cultivos como fuente de energía orgánica.

- Biogás: el biogás es el gas producido en la descomposición de la materia orgánica. Está compuesto principalmente por dióxido de carbono y metano. También puede contener trazas de azufre u otros materiales. Si el contenido de metano del mismo es superior al 50%, comienza a ser inflamable. Las características técnicas del biogás están expresadas



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

en la siguiente tabla:

Composición	55 – 70% metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

Tabla 16. Propiedades del biogás. Fuente Deublein y Steinhäuser, 2008.

Una vez obtenido, el biogás es un combustible como otro cualquier otro. Su combustión que además de CO₂ y agua libera una importante cantidad de calor, es su principal forma de valorización. Aunque un poco menos energético, resulta muy similar al gas natural. Existen multitud de usos para el biogás. En algunos casos, puede ser utilizado directamente y en otros, se requiere una limpieza previa que elimine el CO₂ y el resto de impurezas. En la siguiente tabla, se compara el potencial energético de un biogás con un 65% de metano.

Valores	Biogás*	Gas Natural	Gas Propano	Gas Metano	Hidrog.
Valor Calorífico (Kwh/ m ³)	7.0	10	26	10	3
Densidad (t/m ³)	1.08	0.7	2.01	0.72	0.09
Densidad con respecto al aire	0.81	0.54	1.51	0.55	0.07
Límite de explosión (% de gas en el aire)	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
Temperatura de encendido	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43
Requerimiento teórico de aire (m ³ /m ³)	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4

Tabla 17. Comparativa energética del biogás. Fuente: FAO Manual de Biogás.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Existen multitud de usos diferentes del biogás, los más extendidos y utilizados son:

- Producción de calor en su combustión directa: ya sea para el uso en cocinas de gas (utilización en este proyecto), la calefacción de los hogares o sistemas de calderas. Es el método más simple para su uso y es común en zonas rurales donde el acceso a combustibles tradicionales es difícil.
- La iluminación: pequeños quemadores de gas utilizados como lámparas o farolillos también han sido tradicionalmente utilizados para el aprovechamiento del biogás. Una lámpara de gas normal modificada de manera sencilla para cambiar la cantidad de oxígeno puede ser utilizada para este fin.
- Generación de electricidad: existen diversos sistemas de generación eléctrica que utilizan el calor generado por el biogás para la producción de electricidad. En muchos casos, las plantas de tratamiento de residuos generan parte de su propia energía necesaria con ciclos combinados de vapor que pueden incluir turbinas de gas. Para esta utilización es fundamental tratar el biogás y retirar los restos de sulfatos o la humedad.
- Combustible de vehículos: esta es la aplicación más reciente del biogás. Para poder utilizarse como combustible, debe ser previamente purificado hasta la obtención de metano puro. Este gas, pasa entonces a ser denominado como biometano. Desde 2012, ha comenzado un proyecto piloto de la UE, en el que varios coches públicos y algunos autobuses de la ciudad de Chiclana son propulsados mediante el biometano procedente de las aguas residuales de la ciudad. El reducido coste de este gas, su bajo nivel de emisiones y el poco ruido que hacen los motores al quemarlo, lo convierten en una opción muy interesante para el futuro.



Ilustración 23. Vehículo propulsado por biometano en la ciudad de Chiclana. Fuente: Andalucía Información, proyecto All Gas.



3.2 Breve introducción histórica

La primera vez que se menciona el gas combustible producido por la descomposición de la materia orgánica es en el siglo XVII, cuando algunos científicos descubrieron este fenómeno posiblemente de manera involuntaria. Hasta finales del siglo XIX, no se comienzan a construir los primeros biodigestores, primero en la India colonial y después en Europa. Es relativamente famoso el hecho de que, durante principios de siglo XX, el alumbrado público de la ciudad de Exeter (Inglaterra) se alimentaba exclusivamente del biogás obtenido de las cloacas de la ciudad.

Tras las dos guerras mundiales, el estudio y la implantación de sistemas de producción de biogás se fue extendiendo por Europa. Pero fue en China e India donde la tecnología tuvo más éxito, convirtiendo a estos países en referentes globales. En ellos se comenzaron a implantar de manera novedosa los biodigestores unifamiliares y en medios rurales. Durante este tiempo, se desarrollaron diferentes sistemas para la digestión anaerobia, que pasaron a ser conocidos como modelo chino e indiano respectivamente. La llegada de los combustibles fósiles, la mayor facilidad para acceder a ellos y el precio relativamente barato de su obtención; derivaron en una pérdida de interés por el biogás y su estudio.

Durante las últimas tres décadas, una mayor comprensión de los procesos involucrados en la digestión anaerobia sumada a la escasez de recursos fósiles; ha devuelto el biogás al mercado energético. Y ha sido en Sudamérica donde se ha apostado más seriamente por esta tecnología. Han aparecido nuevos modelos de biodigestor como el continuo o el de lona o bolsa. La ganadería intensiva, ha favorecido la creación de grandes plantas industriales, que ha permitido a granjeros y agricultores generar un ingreso considerable con los deshechos de su negocio.

En el continente africano, había permanecido ajeno a esta tecnología hasta hace unos pocos años. Fue en 2017 cuando se abrió la primera planta de biogás conectada a la red eléctrica en el continente, concretamente en Kenia. Sin embargo, una fuente de energía renovable y autóctona puede significar un importante cambio en la política energética de muchos lugares donde la red eléctrica es inaccesible.

3.3 Tipos de biodigestores en medio rural y sus características

En primer lugar, es importante qué es un biodigestor. Un digestor anaerobio o biodigestor es un recipiente cerrado, en el cual se introduce materia orgánica mezclada con agua para su fermentación. Este proceso, conocido como metanogénesis produce como resultado una mezcla de gases con alto contenido en metano conocido como biogás. Además, la materia orgánica estabilizada es extraída y puede ser utilizada como abono ecológico. Es importante que el recinto que contiene la materia orgánica no tenga grietas y no permita la entrada o salida de gases. La temperatura es un aspecto fundamental en los procesos de digestión, por ello, es fundamental cierto grado de aislamiento térmico puesto que grandes cambios de temperatura afectarán negativamente al proceso.



Las partes principales de la mayoría de modelos de biodigestor son:

- Piscina de recepción de la materia orgánica
- Tubería de entrada
- Reactor
- Tubería de salida de gas
- Gasómetro
- Tubería de salida del afluente
- Pila de salida del bioabono
- Válvulas de seguridad y cierra
- Sistema de agitación
- Sistema de gas, que dependiendo del tipo, tamaño y condiciones del biodigestor puede incluir: Cúpula móvil, separador de sedimentos, manómetros, regulador de presión o apagallamas.

En el caso de este proyecto, ya que se han construido sistemas de baja capacidad y presiones máximas inferiores a 30 cm de columna de agua, muchos de los sistemas de seguridad como el apagallamas o los reguladores de presión han sido innecesarios.

Dicho esto, existen muchos tipos de digestores según su forma, métodos de alimentación, materiales o tecnología disponible. La forma más habitual de clasificarlos es según su régimen de carga.

Biodigestores de carga continua: este sistema se refiere a aquellos digestores cuyo sistema de alimentación es un proceso ininterrumpido. La carga está siempre disponible y la cantidad de carga y de descarga es constante en el tiempo e igual en su cantidad. Este tipo de tecnología se emplea normalmente en grandes plantas industriales, en las que se cuenta con aparatos que controlan la temperatura o la agitación. Los elevados costes de este tipo de plantas, solo están justificados si la cantidad de biogás producido es muy grande. Normalmente se utilizan para el tratamiento de aguas negras.

Existen multitud de modelos diferentes de digestor continuo. Algunos de los más



importantes son los de cubierta elástica, cilíndricos de aluminio o los conocidos como egg-shaped o tipo huevo.

*Ilustración 24.
Biodigestor tipo "huevo"
en Coburg, Alemania.
Fuente: RSB Formwork
technology.*



Biodigestores de carga semi-continua: Este tipo de digestores, muy extendidos en entornos rurales, se caracteriza por una primera carga completa del tanque. Una vez se ha cumplido el conocido como tiempo de retención hidráulico, se va cargando diariamente con una carga pequeña. Al mismo tiempo que se añade este volumen de carga diaria, se extrae una cantidad igual de efluente estabilizado. Estos modelos suelen construirse enterrados y normalmente son de un tamaño reducido en comparación a los de alimentación continua. Algunos modelos son:

- **Modelo chino:** este se caracteriza por tener forma cilíndrica y volumen constante. Se construye enterrado y puede ser de diferentes materiales como cemento o plástico. Consta de un sistema de carga en su parte superior además de la tubería

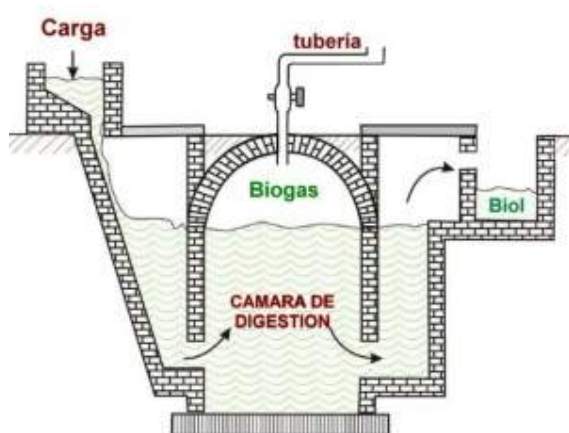


Ilustración 25. Modelo chino. Fuente: Wordpress.com

de entrada y salida de uso diarios. Al tener un volumen constante, la presión producida por la producción de gas aumenta conforme se produce la fermentación. Como consecuencia de este aumento de presión, la cantidad de gas que se puede obtener es relativamente pequeña. En un digestor de 10 m³ se producirán diariamente entre 2 y 1,5 m³ de biogás, aunque este valor depende de muchos otros factores.

- **Modelo indiano:** Este modelo inventado en india, tiene la característica especial

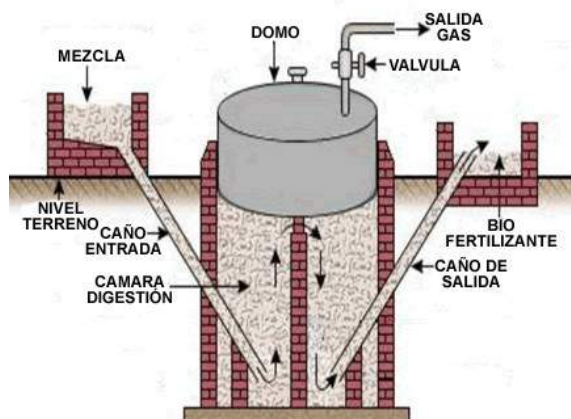


Ilustración 26. Biodigestor indiano. Fuente Wordpress.com

de contar con un domo flotante en su parte superior. Al tener un volumen variable, mantiene una presión relativamente constante, lo que supone un considerable aumento en la cantidad de biogás que se puede obtener con este modelo. Para aumentar el tiempo de retención y así obtener una mayor fermentación, el digestor indiano consta de un tabique central que mezcla la materia orgánica. La cantidad de biogás que se puede obtener con este diseño, será de 5 a 10 m³ para un recipiente de 10 m³. Este aumento eficacia, genera una pérdida de la cantidad de efluente obtenido. Por otro lado, el modelo indiano es considerablemente más caro de instalar que el chino.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

- **Modelo horizontal:** los digestores horizontales se suelen construir bajo tierra, al igual que los dos modelos anteriores. Sin embargo, estos suelen estar poco profundos o semienterrados. Al tratarse de un recipiente alargado, a veces separado por cámaras, la mezcla va fermentando a medida que avanza por el conducto y está completamente estabilizada al llegar al final. Debido a que son más sencillos de instalar que los anteriores, están ganando popularidad. Nuevos modelos hechos con lona de pvc o bolsas elásticas están ganando protagonismo en el sector.



Ilustración 27. Tres biodigestores horizontales instalados en paralelo. Fuente: Sistema biobolsa.

Biodigestores de carga discontinua: Este modelo, conocido como tipo Batch, consiste en un tanque enterrado que cuenta con un único conducto de entrada. La carga se realiza por lotes, una vez cargado completamente no se vuelve a abrir hasta que no deja de producir gas. Mediante este método, no se consigue una producción continua de gas, sin embargo, requiere de menos agua y además el abono producido puede secarse y tratarse en estado sólido, lo que lo hace más sencillo de comercializar. Gracias a esto, tiene un menor tamaño y no requiere de un sistema de agitación. Además, instalando varios en paralelo, se pueden coordinar para que al menos uno de ellos se encuentre siempre en la fase de producción de gas, por lo que es una alternativa muy interesante.



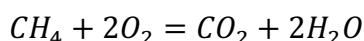
3.4 Beneficios medioambientales del uso del biogás

Dado que la fuente de la que proviene el biogás es la biomasa, este es considerado como una energía renovable. Gobiernos y empresas buscan promover la transición ecológica y muchas veces financian este tipo de proyectos. Muchos granjeros están implantando sistemas de producción de biogás particulares o comunitarios por la cantidad de beneficios que puede traer para sus tierras.

En el caso de las granjas, especialmente grandes plantas agrícolas donde la cantidad de ganado es enorme, la acumulación de heces y orina es un problema. En primer lugar, por el impacto visual y el olor desagradable que puede desprender. Pero mucho más importante que esto es la contaminación de aguas subterráneas derivada de la lixiviación de estos desechos orgánicos. Mediante la recolección y tratamiento de estos productos, se evita este tipo de contaminación.

El uso de fertilizantes químicos que tanto daña la tierra y que puede ser causa de la contaminación de masas de agua cercanas a la granja, es sustituida, en algunos casos, por un biofertilizante ecológico estabilizado que no supone ningún daño ambiental. Este beneficio, además de ambiental es económico puesto que el precio de estos fertilizantes es alto.

Hay que recordar que el metano es un gas de efecto invernadero si se establece en la atmósfera. De hecho, es un gas 21 veces más tóxico que el CO₂. Esto supone que el poder de calentamiento atmosférico que produce una molécula de metano es 21 veces más grande que el de una molécula de dióxido de carbono. Sin embargo, si ese gas es almacenado y quemado, se evita ese daño atmosférico. De hecho, tras su combustión, el metano se convierte en agua y CO₂.



Un factor importante y que no suele ser comentado en los manuales de referencia sobre el tema, es la sustitución de la madera. En muchos entornos rurales en los que se carece de electricidad, la deforestación producida por la tala de árboles es un gran problema. Comunidades que produzcan biogás, pueden evitar esta tala utilizando el biogás para la calefacción o cocina.

Por último, el uso del biometano como combustible para vehículos, tiene grandes ventajas medioambientales. Sustituye el uso de combustibles fósiles tradicionales que más allá de CO₂, emiten otro tipo de gases mucho más peligrosos como hidrocarburos o NO_x.



3.5 Fundamentos de la digestión anaerobia [24], [25]

La digestión anaerobia también conocida como fermentación metanogénica, es un proceso bioquímico complejo en el que intervienen cientos de bacterias diferentes. A diferencia de la digestión aerobia, es fundamental que no haya oxígeno presente durante la reacción. Este es un factor absolutamente fundamental para el desarrollo de las bacterias y unas condiciones diferentes supondrían otro tipo de reacciones. Toda materia orgánica está compuesta fundamentalmente de tres tipos de cadenas moleculares: proteínas, lípidos e hidratos de carbono. Las bacterias involucradas en la digestión, van descomponiendo estas cadenas y generando subproductos en diferentes fases. Una vez terminado el proceso, que puede durar entre 15 y 120 días dependiendo de las condiciones en las que se de, el resultado final es la aparición de metano (CH_4) y dióxido de carbón (CO_2).

Durante décadas, se desconoció cómo sucedía este proceso y qué bacterias estaban involucradas. Sin embargo, los estudios recientes llevados a cabo desde mediados de los años 80, nos han ofrecido una mejor comprensión de este complicado proceso natural que incluye más de 200 grupos de bacterias diferentes. En este esquema se pueden vislumbrar las diferentes fases de las que se ofrecerá una breve descripción y subproductos de la reacción:

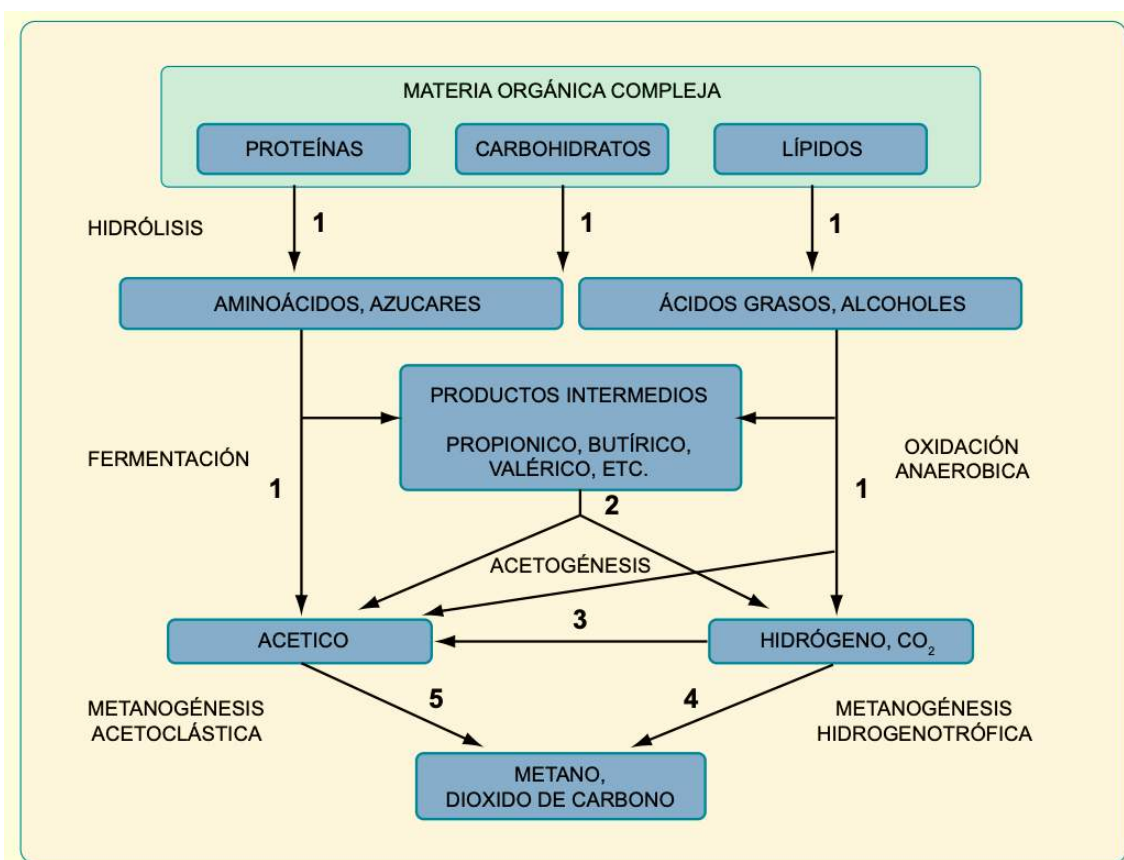


Ilustración 28. Esquema de las reacciones que ocurren en la digestión anaerobia. Fuente: Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1001



Fase de hidrólisis: en los primeros días de la fermentación, la materia orgánica se encuentra en tres tipos de macromoléculas diferentes: proteínas, lípidos e hidratos de carbono. Tras la acción de enzimas extracelulares, estos compuestos demasiado complejos para ser utilizada por los organismos, se descompone en sustratos más pequeños como azúcares, alcoholes o ácidos.

Las proteínas, debido a su alto contenido energético, suponen una materia prima muy importante para este proceso, pues tras ser hidrolizadas, serán convertidas en péptidos y aminoácidos fundamentales para las siguientes etapas del proceso biológico.

En cuanto a los lípidos, especialmente la celulosa y la lignina, son los componentes que más tiempo requerirán para su descomposición en elementos más sencillos. La presencia de estos tejidos en la materia prima será determinante a la hora de calcular el tiempo de retención.

Sin lugar a dudas, la hidrólisis es el momento más delicado de la fermentación, el pH, la temperatura y el tamaño de sólidos serán determinantes para superar esta etapa del proceso anaeróbico.

Fase fermentativa: en la etapa fermentativa, las bacterias anaeróbicas y las facultativas comienzan a actuar. Es el momento en que todo el oxígeno remanente se consume. Los productos resultantes de la fermentación de compuestos orgánicos sencillos, son por lo general diferentes tipos de ácidos en especial el acético. También pueden aparecer otros subproductos ácidos como el láctido el propiónico o el bórico.

Fase acetogénica: mientras que algunos de los productos resultantes de la fermentación como el hidrógeno o el ácido acético pueden ser directamente convertidos en metano; los ácidos más complejos que aparecen en la etapa anterior, requieren de otro tipo de microorganismos para su descomposición. En la acetogénesis, estas cadenas de carbono son descompuestas para alimentar a las llamadas bacterias acidogénicas y acetogénicas. Los ácidos formados principalmente de hidrógeno y carbono, son convertidos exclusivamente en hidrógeno molecular, ácido acético y CO_2 .

Fase metanogénica: en la etapa final del proceso, un grupo de bacterias denominadas metanogénicas terminan actuando sobre los ácidos y los sustratos monocarbonados. Existen dos grandes tipos de bacterias que actúan en la producción del metano. Aquellas que digieren el CO_2 y el hidrógeno para la formación de metano (CH_4) y las que se encargan de degradar los ácidos, especialmente el acético. Son las segundas las que constituyen una parte más importante del metano final.

El proceso de digestión anaerobia, es complejo y difícil de entender. Un estudio en profundidad de cada fase que lo define y de las bacterias involucradas sería suficiente como para la elaboración de varios proyectos. Con este apartado simplemente se trata de ofrecer una visión global que ayude al lector a comprender el proceso a grandes rasgos.



3.6 Factores determinantes en la digestión anaerobia:

En la producción de biogás, existen cantidad de factores internos (propios de la naturaleza de la materia prima) y externos que influyen en el tiempo, cantidad, calidad y posibilidad de generar metano. Estos agentes son fundamentales a la hora de controlar la producción, puesto que unas condiciones inadecuadas pueden detener el proceso de fermentación. Los factores más importantes a tener en cuenta son:

- Naturaleza del sustrato utilizado
- Adecuada relación entre la cantidad de carbono y nitrógeno en la mezcla
- Niveles de sólidos totales humedad de la mezcla
- Temperatura
- Rangos de pH
- Tiempo de retención
- DBO/ DQO
- Nutrientes
- Inhibidores de la reacción
- Agitación

3.6.1 Naturaleza del sustrato utilizado

Existe una amplia diversidad en los materiales orgánicos que podemos utilizar para producir biogás, los más importantes son:

- Residuos de origen animal: estiércol, orina, sangre, pieles de pescado...
- Residuos de origen vegetal: rastrojos, restos vegetales, pajas...
- Residuos de origen humano: heces, orina, basura doméstica orgánica
- Residuos acuáticos: algas, material orgánico subacuático.

Aunque las fuentes de carbono y nitrógeno son las más importantes para el desarrollo de las bacterias anaeróbicas, es importante la presencia de ciertas sales minerales como pueden ser el azufre el potasio o el calcio. Dado que las heces humanas y animales contienen una cantidad adecuada de estas sales, se recomienda el uso de al menos un estiércol en la reacción.

Aunque prácticamente todo tipo de materia orgánica es aprovechable ya que puede ser descompuesta, algunos materiales no pueden ser utilizados directamente y requieren de un pretratamiento que favorezca su descomposición. En el caso de los estiércoles, suelen ser elementos con alto contenido en lignina, sustrato que es determinante en el tiempo de fermentación. En estos casos, se recomienda el compostaje o el triturado para favorecer la reacción. Sin embargo, no existe una única técnica adecuada puesto que el tipo de animal o la alimentación que haya tenido, influye considerablemente en el proceso.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Más allá de el tiempo de retención o de las facilidades para su descomposición total. Se han clasificado los sustratos en cuatro clases atendiendo a sus características físicas y biológicas como su demanda biológica de oxígeno. Atendiendo a esta separación, también se distinguen las diferentes maneras de tratarlo. En la siguiente tabla, se resumen la manera de clasificar los diferentes tipos de materia prima:

Características	Clase	Tipo de Sustrato	Características Cuantitativas
Sólido	1	Basura Doméstica	> 20 % ST 40-70 % Fracción Orgánica
		Estiércol Sólido	
		Restos de Cosecha	
Lodo altamente contaminado, alta viscosidad	2	Heces Animales	100-150 g/l DQO 5%-10% ST 4%-8% SV
Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos (SS)	3	Heces Animales de cría y levante diluido con agua de lavado	3-17 g/l DQO 1-2 g/l SS
		Aguas residuales de mataderos	
Fluidos muy contaminados, sólidos en	4	Aguas residuales de agroindustrias	5-18 g/l DQO
		Aguas Negras	4-500 g/l DQO

Tabla 18. Clasificación de los distintos sustratos. Fuente: Esguerra, 1989.

Según esta clasificación, los sustratos de diferentes clases se deberán tratar de maneras diferentes. Si bien los sustratos de primera y segunda clase se tratan de manera eficiente en digestores por lotes o semi-continuos, los sustratos de tipo tres requieren un filtrado previo para aumentar su DQO y los sustratos de clase cuatro se tratarán exclusivamente en digestores intensivos, con un alto grado de eficiencia.

La composición bioquímica de la materia orgánica, también resulta un factor determinante a la hora de estimar la cantidad de biogás producido por cada tipo de sustrato. Para tratar de simplificar, basta con saber que los productos con una mayor concentración de carbohidratos y glúcidos, son compuestos con mayor energía disponible, lo que se traduce en un mayor potencial para la producción de metano. En este gráfico se muestra la cantidad de biogás que pueden producir diferentes materias primas.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

3.6.2 Relación carbono/nitrógeno.

Este factor es uno de los más importantes a la hora de elegir qué materias primas se quieren fermentar. Las bacterias metanogénicas, se alimentan fundamentalmente de carbono y de nitrógeno, pero éstas necesitan entre 25 y 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno. Un abaja concentración de carbono, menos de 10:1, producirá un alto contenido en amonio. Si la concentración de amonio crece demasiado, este comienza a ser toxico e inhibirá cualquier actividad bacteriana. Si por el contrario, se utilizase una materia prima con alto contenido en carbono, por ejemplo 35:1, el crecimiento en el número de bacterias se vería muy afectado. Esto supondría que el tiempo necesario para la producción del biogás sería excesivamente grande.

Actualmente, hay mucha información sobre el contenido de carbono y nitrógeno de todos los materiales orgánicos. Por esto, es sencillo calcular las proporciones adecuadas de cada una de los sustratos utilizables. En la siguiente tabla, se pueden ver algunos de los ejemplos más relevantes.

Materiales	% C	% N	C/N
Residuos animales			
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Caprinos	40	1.00	40:1
Conejos	35	1.50	23:1
Gallinas	35	1.50	23:1
Patos	38	0.80	47:1
pavos	35	0.70	50:1
Excretas humanas	2.5	0.85	3:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0.53	87:1
Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja arroz	42	0.63	67:1
Paja avena	29	0.53	55:1
Rastrojos maíz	40	0.75	53:1
Leguminosas	38	1.50	28:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas secas	41	1.00	41:1

Tabla 19. Proporción de Carbono y nitrógeno de diferentes tipos de residuos. Fuente: Varnero y Arellano, 1991.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Para realizar un cálculo sencillo de este factor, basta con apoyarse en esta fórmula

$$Q = \frac{C_1 * R_1 + C_2 * R_2 + \dots C_n R_n}{C_1 + C_2 + \dots C_n}$$

- Q: Relación C/N de la mezcla final.
- C_n: Paso fresco de cada una de las materias primas (1, 2, 3...n)
- R_n: Relación Carbono/Nitrógeno de cada una de las materias primas utilizadas

2.6.3 Niveles de sólidos totales (humedad de la muestra)

Para llenar un biodigestor, se precisa de materia orgánica. Toda la materia orgánica consta de una cantidad relativa de agua y una parte sólida. A esta parte de materia orgánica sólida es la que conocemos como sólidos totales. En un biodigestor semi-continuo, como el que se trata en este trabajo, la proporción de sólidos totales debe ser en torno al 10%. Este dato, obtenido experimentalmente, sitúa entre un 8 y un 12% la cantidad adecuada. En general, toda la materia orgánica disponible tiene un nivel de sólidos totales superior a esta cifra. Será por tanto necesaria la adición de cierta cantidad de agua para un buen funcionamiento del sistema.

Los niveles de sólidos totales, son muy variables en los estiércoles. Dependen sustancialmente del tiempo desde su deposición, la época del año o el tipo de animal del que proceden. En la tabla siguiente, se recogen datos promedio del nivel de sólidos habitual en diferentes sustratos.

Materias primas	% Sólidos totales
Residuos animales	
Bovinos	13.4 – 56.2
Porcinos	15.0 – 49.0
Aves	26.0 – 92.0
Caprinos	83.0 – 92.0
Ovejas	32.0 – 45.0
Conejos	34.7 – 90.8
Equinos	19.0 – 42.9
Excretas humanas	17.0
Residuos vegetales	
Hojas secas	50.0
Rastrojo maíz	77.0
Paja trigo	88.0 – 90.0
Paja arroz	88.8 – 92.6
Leguminosas (paja)	60.0 – 80.0
Tubérculos (hojas)	10.0 – 20.0
Hortalizas (hojas)	10.0 – 15.0

Tabla 20. Nivel de sólidos totales de diferentes materias primas. Fuente: Varnero y Arellano, 1991.



Este cálculo suele ser más impreciso que el anterior, debido a que es muy difícil conocer con exactitud la proporción de sólidos de cada una de los lotes que se utilizan. En cualquier caso, la duda será siempre la de qué cantidad de agua es adecuado echar. En la siguiente fórmula se ha despejado ese factor para facilitar su uso:

$$V_{agua} = \frac{TS\%}{C_1 * TS_1 + C_2 * TS_2 + \dots C_n TS_N} - C_1 - C_2 - \dots C_N$$

- TS%: Valor deseado de sólidos totales. Debe encontrarse entre un 8 y un 12%
- C_n : Peso fresco de cada componente en Kg
- TS_n : Sólidos totales de cada componente en %
- V_{agua} : cantidad de agua a añadir en Kg o L.

3.6.4 Temperatura

La temperatura a la que se desarrolla la digestión es otro de los factores más determinantes en el proceso. No sólo es que afecte al comportamiento bacteriano, sino que también afectará al tipo de bacterias que crezcan en el digestor. Por lo general, podemos resumir que a mayor temperatura, se conseguirá una mayor tasa de crecimiento bacteriano y por tanto una más rápida y mejor reacción.

Las bacterias anaeróbicas trabajan en tres rangos distintos en cuanto a temperatura se refiere. El rango psicrófilo, el mesófilo y el termófilo que trabajan en torno a los 15°, 30° y 55° respectivamente. El tramo más frío a penas se ha estudiado, el mesofílico es el más extendido y el último, se utiliza exclusivamente cuando existen mecanismos de calentamiento y sensores de temperatura que aseguren que esta se encuentre dentro de los márgenes adecuados. En cualquiera de los tres casos, los cambios muy bruscos de temperatura son muy dañinos para el proceso y no se recomienda que la mezcla experimente cambios de más de 1,5 °C al día.

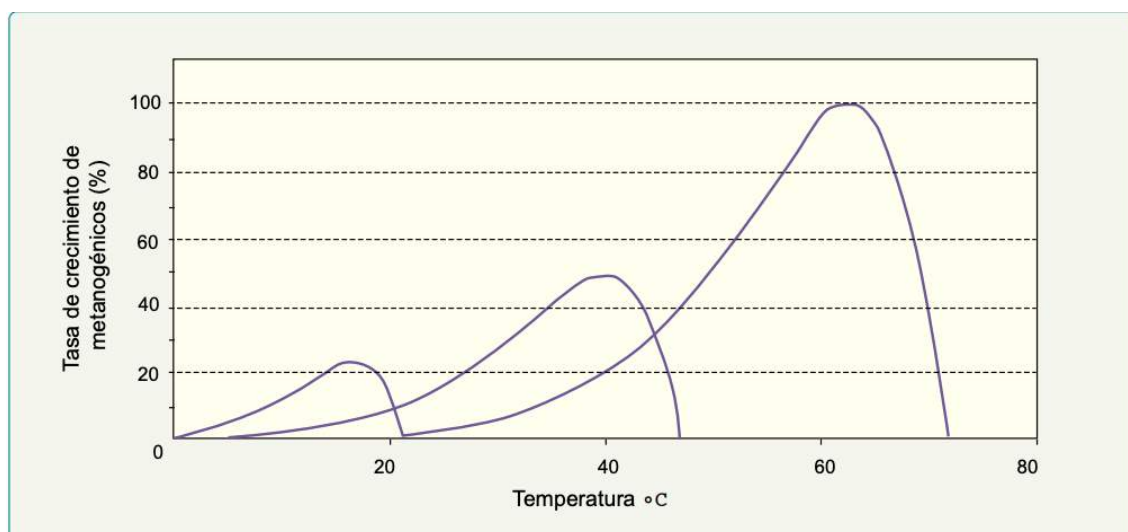


Tabla 21. Tasa de crecimiento en los rangos psicrófilos, mesofílicos y termofílicos. Fuente: Speece, 1996.



3.6.5 Rangos de pH

El pH más adecuado para el buen desarrollo bacteriano, es el neutro. Pequeñas variaciones de los niveles adecuados pueden suponer la muerte de miles de bacterias y la consecuente parada de la reacción.

En caso de que el pH baje por debajo de 6 (sea muy ácido), la producción de biogás no tiene por qué detenerse, sin embargo, la riqueza en metano de este es muy baja y pierde cualidades energéticas. En este caso, las bacterias metanogénicas encargadas de la fase final de la reacción dejan de hacer su función. Esto supone una acumulación de ácido acético lo que conlleva una mayor reducción del pH. Este problema es muchas veces debido a la acumulación de ácidos grasos volátiles. Una buena solución es la de dejar de alimentar el digestor, así se deja tiempo a que todos los ácidos reaccionen y se recupere un pH normal. Si no es así, se pueden añadir productos como bicarbonato de sodio o sal para estabilizar la acidez.

No es común que el pH se eleve por encima de 8, puesto que la alcalinidad natural del sistema se regula por la formación de amoníaco. En cualquier caso, la actividad bacteriana decrece considerablemente cuando el pH sube demasiado, por lo que es importante mantener los niveles controlados.

Lo más adecuado para llevar un buen control del pH es asegurar que la materia de alimentación se encuentra en los valores adecuados. En el siguiente gráfico se expresa la actividad bacteriana en relación al pH de la mezcla:

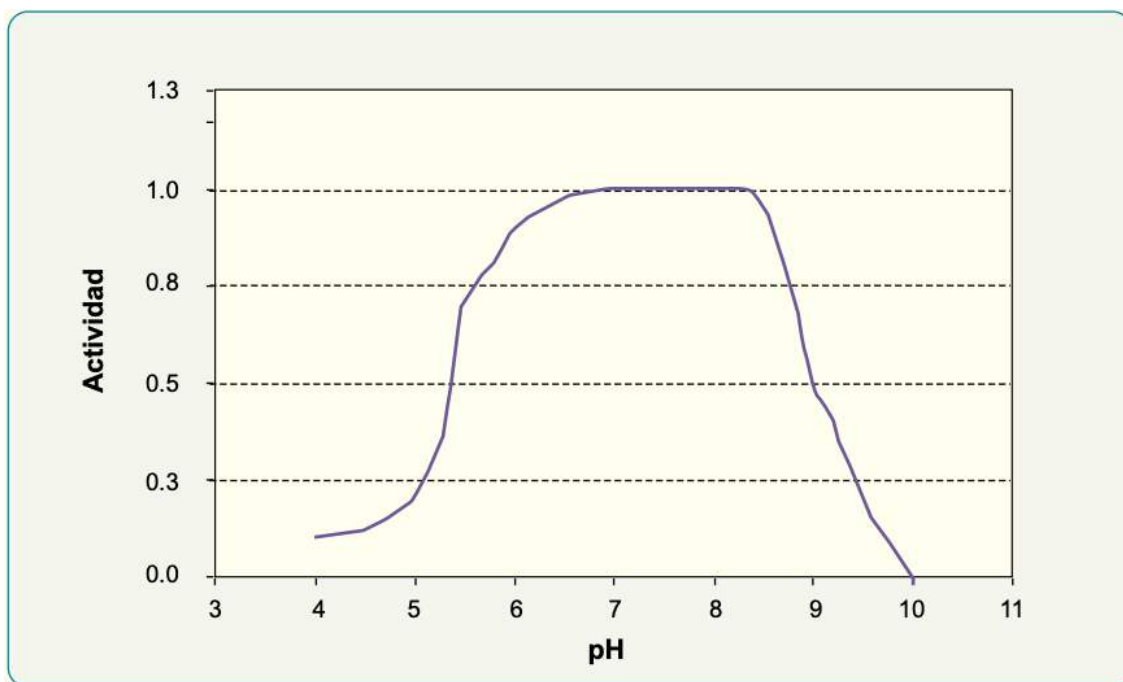


Tabla 22. Actividad microbiana en relación con el pH. Fuente: Speece, 1996



3.6.6 Tiempo de retención y carga diaria.

En el caso de tratarse de un biodigestor de carga discontinua, la cantidad de MO que añadimos cada día debe ser controlada. Ya que, si se añade demasiada, la fermentación no se completará, el efluente no estará completamente estabilizado y la producción de biogás será menor que la debida. En el caso contrario, no se estaría aprovechando todo el potencial del biodigestor.

El tiempo de retención y la carga diaria son dos factores inversamente proporcionales. Llamamos tiempo de retención al tiempo que transcurre desde la primera carga hasta que comienza la aparición del biogás. En un volumen fijo, la carga diaria resultará de dividir la capacidad total de nuestro recipiente entre el tiempo de retención. Así, tras el paso de un ciclo completo, la carga del digestor se habrá renovado completamente.

El tiempo de retención es un factor muy variable, aunque generalmente se puede estimar atendiendo a las condiciones climáticas. Así, en zonas cálidas con clima tropical puede ser de entre 25 y 40 días, mientras que en zonas más frías puede extenderse hasta los 60 o 90 días.

3.6.7 DBO/DQO

La demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno, son maneras indirectas de medir la cantidad de materia orgánica presente en la mezcla. Estos indicadores ofrecen información sobre el oxígeno necesario para oxidar completamente la mezcla. Es un indicador que está estrechamente relacionado con la carga diaria, puesto que un aumento excesivo de la cantidad de materia orgánica, puede suponer un aumento de los niveles de ácidos y la disminución rápida del pH. Por tanto, la DBO y la DQO no son en sí mismos una condición de nuestra mezcla, sin embargo, son herramientas muy útiles para conocer el estado de la misma.

3.6.8 Nutrientes

En cualquier reacción bioquímica, se requiere de la presencia de un cierto grupo de nutrientes. En el caso de la digestión anaerobia, la demanda de nutrientes como el nitrógeno o el fósforo es relativamente pequeña en comparación con otro tipo de reacciones similares. Se considera que una buena relación de nitrógeno fósforo es una parte de fósforo por cada cinco de nitrógeno aproximadamente. Una cantidad apropiada de fósforo, aunque no es determinante, favorecerá considerablemente el desarrollo bacteriano.

Además de los macro-nutrientes ya mencionados, también es conveniente la aparición de ciertos metales en cantidades de mg por cada litro de mezcla. Sustancias como el hierro, el cobalto, el níquel o el magnesio siempre y cuando se encuentren en cantidades apropiadas, beneficiarán considerablemente el proceso metanogénico.



3.6.9 Inhibidores de la reacción.

Existen varios productos que pueden aparecer en la mezcla orgánica y que dificultan o impiden el crecimiento bacteriano. La manera en la que estos agentes tóxicos afectan al proceso depende mucho de su cantidad, puesto que, en algunos casos, éstos pueden ser beneficiosos en bajas concentraciones. Los inhibidores más importantes son:

- Ácidos grasos o volátiles: la alta concentración de estos subproductos de la reacción, pueden desestabilizar el sistema frenando la reacción. La concentración de este tipo de ácidos debe ser menos a 60 mg/L.
- Hidrógeno: el hidrógeno es un subproducto que juega un papel importante en la digestión, sin embargo, cuando la concentración de esta molécula es excesiva, puede llegar a destruir el proceso acetogénico.
- Nitrógeno amoniacal: la aparición de amoniaco es habitual en el proceso digestivo. Sin embargo, ya sea por el contenido de la materia prima o por su

Amoníaco-N (mg/L)	Efectos
50-100	Benéficos
200-1000	Sin efectos adversos
1500-3000	Efectos inhibitorios a niveles de pH altos
Sobre 3000	Tóxico

producción en el interior del digestor, su exceso puede llegar a ser tóxico para el proceso. En esta tabla se muestran los efectos que puede tener según su concentración.

Inhibidores	Concentración inhibidora
SO ₄ ⁻	5000 ppm
NaCl	40000ppm
NO ₃ ⁻	0.05 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200-500 mg/l
CN ⁻	25 mg/l
Na	3500-5500 mg/l
K	2500-4500 mg/l
Ca	2500-4500 mg/l
Mg	1000-1500 mg/l

Tabla 24. Algunos inhibidores dependiendo de sus concentraciones. Fuente: Gene y Owen 1996.

- Existen otro tipo de inhibidores que pueden ser dañinos para la reacción, en esta tabla sacada del manual de Biogás de FAO, se encuentran algunos:



3.6.10 Agitación:

En el desarrollo bacteriano, es importante tener algún sistema de agitación para mover la mezcla de materia orgánica y agua. Los principales objetivos de la agitación son:

- Mezclado de la población bacteriana por el nuevo material orgánico
- Romper la costra que se pueda formar en la parte superior del tanque
- Uniformar la población bacteriana y los subproductos de las diferentes fases
- Evitar que haya espacios de baja actividad biológica
- Distribuir uniformemente la temperatura

Todas estas ventajas supondrán un aumento de la producción de metano y una disminución significativa en el tiempo de retención hidráulico. Hay que tener en cuenta el método, la frecuencia y la intensidad de la agitación. Una agitación excesivamente brusca puede alterar el equilibrio entre los diferentes tipos de bacterias, por lo que se recomienda una agitación lenta o moderada.

Los tres métodos más utilizados para la agitación de la mezcla son:

- Mecánica, manual o mediante motores
- Hidráulica con bombas de agua
- Mediante el burbujeo producido por la recirculación del gas.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez



4. Instalación de biodigestores en Zimbabwe

4.1 Modelo con tanque de agua en Nowetza Village.

4.1.1 Descripción del entorno

La aldea de Nowetza, se encuentra 15 km al noroeste de la ciudad de Dotito. Es un lugar estratégico dentro de la región por varias razones:

- Se encuentra al borde del camino principal que conecta varias aldeas, por lo que es una zona de fácil acceso en coche y de cierto tránsito.
- Se eligió la residencia del “Chief” de la comunidad. El “Chief” es el equivalente al juez de todo el área, por lo que tiene mucha influencia en la comunidad y muchos le tienen como referencia, esto facilitará la expansión de la tecnología. Debido a esto, multitud de habitantes de la zona acuden a este lugar diariamente para zanjar sus disputas ante la autoridad. Esto permite que muchas personas vean y conozcan el nuevo reactor instalado.
- A escasos 100 metros del lugar de la instalación del digestor, se encuentra un corral con más de 60 vacas. Esto significa que se tendrá materia orgánica disponible con facilidad. Además, la bomba más cercana está a menos de 500 metros, lo cual es poco en comparación con otros vecinos. La casa donde se instaló el digestor contaba con tres cocinas mas una exterior, por lo que, para evitar problemas de fugas, se instaló la cocina de gas en el exterior a unos 20 m del reactor.
- Las condiciones climáticas del lugar son las mismas que las comentadas al principio. El lugar que se eligió era despejado, soleado y lejos de cualquier zona de uso habitual.

4.1.2 Materiales necesarios y presupuesto

El primer diseño, se realizó con un tanque de dos capas de PVC de 2000 litros. Todos los materiales necesarios se adquirieron en el mercado de Mbare en la ciudad de Harare a comerciantes locales. La lista completa de materiales y su precio expresado en dólares americanos es:

- Tanque de agua doble capa de PVC. 2000 litros de capacidad. 300 usd.
- Tubería de PVC 115 mm de diámetro. 4 metros. **
- Tubería de gas de 15mm de diámetro. 20 m **
- 3x válvulas de apertura y cierre para tubería de gas. **
- Bote de silicona. **
- Tubo de cobre 15 mm. **
- Goma para juntas. **
- Tubo de desagüe para lavadora. **
- Cinta de teflón para juntas de fontanería. 5m. **
- Pegamento de PVC. **
- Tubo de plástico flexible de 10mm de diámetro. 5 metros. 5 usd.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

- 8x abrazaderas 20 mm. 4 usd.
- 2x juntas en T para tubería de gas. 8 usd.
- Botella de plástico de 5 litros. *
- Alambre. *
- 80 x ladrillo de arcilla. *
- Bolsa de cemento. *
- Cámara de aire de rueda de coche. 2 usd.
- Cocina de gas + regulador de presión. 14 usd

** Los productos fueron adquiridos en una tienda de fontanería del mercado de Mbare y tuvieron un precio total de 65 usd.

*Los productos fueron gratis, tomados de otros proyectos o pertenecían a la comunidad.

Las herramientas utilizadas fueron:

- Cutter.
- Cuchillo.
- Picos.
- Palas.
- Metales calientes.
- Pistola de silicona.
- Taladro (Se usó días antes de la instalación para perforar el tanque).
- Sierra.
- Nivel.
- Cinta métrica.
- Cuerda.

Ninguna de las herramientas tuvo que ser adquirida. Algunas fueron transportadas desde España y otras fueron prestadas por la comunidad.

En total 8 hombres adultos y 7 niños contribuyeron de alguna forma a la instalación del digestor, la recogida de heces y agua, la preparación de la mezcla y el llenado.

El presupuesto corresponde exclusivamente con el coste de los materiales. No incluye la mano de obra (pues el trabajo fue voluntario), el transporte o gastos de agua.
Presupuesto final: 398 USD.

4.1.3 Proceso constructivo y arranque:

Los pasos seguidos para la completa instalación del digestor fueron:



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

1. Selección y preparación del lugar:

La selección del lugar se justifica por las razones dadas en el apartado 4.1.1. Se trataba de un lugar bastante despejado. En cualquier caso, se limpió la zona para evitar posibles tropiezos con ramas o rocas. Se aprovechó además un ligero desnivel en el terreno con lo cual el silo de entrada se encontraba unos 30 cm por encima del de salida.

2. Excavación de un agujero para enterrar el tanque.

Este es uno de las partes más costosas. A falta de maquinaria industrial, se cavó de manera manual, con pico y pala. Debido al reducido espacio disponible, se procedió por turnos. El agujero cuadrado de 1,2x1,2m y 1,1m de profundidad se excavó en una mañana. A este agujero, se le añadieron dos rampas laterales con 45 grados de inclinación para las tuberías de entrada y salida. Una vez terminado el agujero, hubo que agrandarlo varias veces especialmente en la parte de abajo para que el tanque cupiese de la forma deseada en la posición correcta.

Ilustración 29. Voluntarios cavando. Fuente: Manuel Moreno.



3. Preparación del tanque:

Para agujerear el tanque, se utilizó un taladro con una broca del 10. La altura de los agujeros es importante, puesto que dependiendo de su posición la entrada y salida de afluente será más o menos fluida. Para la tubería de entrada, se agrandó un agujero que ya existía en el tanque, con la parte inferior a unos 15 cm del fondo de este. En cuanto a la tubería de salida, se situó unos 25 cm por encima del fondo. Esta decisión se tomó inspirado en los diseños del modelo chino vistos en bibliografía.

Para los agujeros del tanque, dado que las tuberías de entrada se colocaron con una inclinación de 45 grados, se hicieron con forma de elipse para así no forzar demasiado el material. Además, con plástico de un cubo roto, se reforzaron los agujeros. Además, un agujero para el desagüe que tenía el tanque se selló de la misma forma. Se pusieron parches por ambos lados y silicona en medio. Para ello, se recortaron las formas de



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

plástico deseadas y se unieron derritiendo sus extremos con hierros calientes y presionando contra la superficie del tanque. Como se hizo por ambos lados, fue necesario



Ilustración 30. Refuerzo de los agujeros derritiendo plástico. Fuente: Manuel Moreno.



Ilustración 31. En el interior del tanque para sellar el agujero y apretar la tuerca del conducto de salida. Fuente: Manuel Moreno

meterse dentro del tanque.

Además del sellado de las grietas, se instaló la llave de salida del gas. Para ello, se utilizó un sistema de doble rosca que aseguraba el grifo de salida al interior del tanque. Para sellar más la junta, se utilizó goma de caucho agujereada y silicona. Para apretarlo, también fue necesario sujetar desde dentro.

4. Corte e instalación de las tuberías.

Una vez preparado el tanque y el grifo de salida del gas, se procedió a instalar las tuberías. Se cortaron dos tramos de dos metros, con el extremo a 45 grados. Como el tanque ya estaba colocado en su lugar, hubo que meterse dentro del agujero para sellar bien la zona con silicona. También se selló desde dentro. Al estar el tanque en posición vertical, no fue fácil salir y fue necesaria la ayuda de varios compañeros.



Ilustración 32. Tanque instalado con tuberías. Se puede apreciar el agujero superior sellado con plástico fundido. Fuente: Manuel Moreno.

5. Silos de entrada y salida:



Para la introducción del material orgánico y la retirada del afluente, se construyeron dos piscinas con ladrillo y cemento. La primera de 40 cm de altura, se conectaba con la tubería en su suelo. La de salida, que era ligeramente más baja, cortaba con la tubería a la altura de la pared para que el efluente precipitase de manera más cómoda.



Ilustración 34. Construcción del silo de salida. Fuente: Manuel Moreno



Ilustración 33. Tubería en el silo de salida. Fuente: El autor.



Ilustración 35. Silo terminado. Fuente: Manuel Moreno.

6. Conducto de gas

Para la tubería del gas, se utilizó un agujero ya existente en la parte superior del tanque. A ambos lados del agujero se aseguró un tubo roscado por ambos lados con sus tuercas, gomas para sellar el agujero y silicona para asegurar la ausencia de pérdidas. A partir de esta rosca, se colocó la primera llave. Después, con un sistema similar al anterior, pero utilizando un pequeño tubo de cobre, se conectó la tubería de gas a la llave de salida. La tubería de gas, consta de dos llaves más y dos tes.

La primera T, consiste en una válvula de seguridad con una botella de agua. Cuando la presión es mayor de 0,2 metros de columna de agua, el gas comienza a escaparse. Este sistema es importante en un digestor casero en medio rural. Cualquier aumento excesivo de la presión del gas interno puede suponer un riesgo. Por lo general, no se llegará a ese límite ya que el gas se consume diariamente.

La segunda T, tiene varias utilidades y puede abrirse y cerrarse con una llave instalada al principio de la misma. En primer lugar, puede usarse para la purga del sistema. Es una parte importante del mantenimiento de un digestor el purgar el conducto algunas veces. Bien sea porque la proporción de dióxido de carbono es demasiado alta, o que se acumula vapor de agua en el sistema. La segunda utilidad que se le puede dar a la ramificación, es la de sistema de agitación. Si se ajusta a la llave el desagüe de lavadora y el tubo de plástico que lo extiende, puede introducirse por la tubería de salida. Así, se hará recircular el biogás dentro del tanque removiendo la mezcla y rompiendo la posible



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

costra. Por último, se ha instalado un gasómetro con una válvula de una rueda de coche. En principio, este se ha instalado exclusivamente para comprobar el funcionamiento del digestor, sin embargo también puede ser utilizada como almacenamiento para ensayos con el mismo o transporte del gas.



Ilustración 37. Gasómetro válvula de coche, en este caso el gas contenido no era inflamable por su alto contenido en CO₂. Fuente: el autor.



Ilustración 38. T de usos múltiples con sistema de agitación acoplado. Fuente: el autor.



Ilustración 36. Válvula de seguridad. Fuente: El autor.



4.1.4 Cálculos para el llenado y proceso de puesta en marcha.

El primer cálculo que se debe hacer a la hora de planificar un digestor es para asegurar que la proporción nitrógeno/carbono es adecuada. Por los motivos que se explican en la introducción y por la facilidad de su recogida se decidió utilizar abono de vaca para el arranque del digestor. Como vemos en la Tabla 13, la proporción nitrógeno/carbono del resto bovino es de 25/1. Por lo cual se podría utilizar exclusivamente sin mezclar con nada. Sin embargo, se decidió mezclar con hojas secas por las siguientes razones:

- Mostrar a la comunidad la posibilidad de utilizar otro tipo de materias primas además de estiércoles.
- La mayor producción de biogás obtenida de los restos vegetales.
- Un ligero aumento de esta proporción C/N.

La proporción de C/N que se trató de alcanzar fue la de 27:1.

Datos:

- C/N estiércol vacuno: 25.
- C/N hojas secas: 41. (Tomados de tabla 13).
- % Sólidos totales estiércol bovino: 13,4-56,2.
- % Sólidos totales hojas secas: 50.

Cálculo relación C/N con 10 kg de estiércol bovino y 1kg de hojas secas: (Explicación de la fórmula en 3.4.2)

$$Q = \frac{C_1 * R_1 + C_2 * R_2 + \dots C_n R_n}{C_1 + C_2 + \dots C_n}$$

$C_1 = 10 \text{ Kg}$

$C_2 = 1 \text{ Kg}$

$R_1 = 25$

$R_2 = 41. \rightarrow \rightarrow Q \text{ (Relación C/N de la mezcla final)} = 26,5.$

Dado que esta proporción es la adecuada, se procedió a utilizar estas cantidades. Todas las medidas de peso se realizaron en un cubo de plástico, utilizando una balanza digital de mano pensada para los equipajes.

La proporción de sólidos totales, es un parámetro de más difícil medida. El amplio rango de contenido en sólidos del estiércol de vaca, sumado a la imposibilidad de determinarlo experimentalmente, dificultaron ligeramente la decisión. Dado que este es un problema común, es habitual encontrar en mucha bibliografía diferentes recomendaciones de la que se considera una proporción adecuada. En el caso de las hojas, fue sencillo de determinar, pues su contenido en sólidos es fijo y más en esta época del año. Si bien algunas fuentes recomiendan la proporción 1:1 para las heces frescas, la mayoría opta por 1:1,5. En este caso, se trabajó habitualmente con estiércol seco, pues era más abundante y sencillo de recoger.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Para determinar la cantidad de agua que se requería concretamente en este caso, se tomaron muestras de 1 kg de estiércol en tres estados diferentes. Fresco, en plastá y con relativa humedad y seco. Al primero, se le añadió un litro de agua, al segundo dos litros y al tercero 3 litros. Observando las diferencias entre los tres, pudo estimarse que las primeras muestras rondarían un 20 y 30% de sólidos totales respectivamente. Esto se hizo comparando visualmente la densidad con la mezcla de agua y hojas. En el tercer caso, la mezcla era más sólida que el resto, hubo que añadir algo menos de 4 litros de agua para igualar la apariencia visual.

El objetivo propuesto era el de conseguir una cantidad de sólidos que rondase el 10%. El cálculo de la cantidad de sólidos totales de cada sustancia con agua, se realiza de la siguiente forma:

$$\%ST \text{ (mezcla final)} = \frac{Kg_{\text{materia prima}} * \%ST_{\text{materia prima}}}{Kg_{\text{materia prima}} + Kg_{\text{agua}}}$$

Port tanto, en el caso de las hojas cuyo contenido en agua es del 50%, se utilizaron:

$$\frac{1Kg * 50\%}{10\%} - 1Kg = 4 Kg \text{ de agua}$$

Por comparación, se estimó que la proporción en sólidos de las muestras de estiércol, eran de 20%, 30% y algo menos del 50%. Bajo este criterio, comenzaron a mezclarse las diferentes partes por lotes. Una vez hechos los lotes, se juntaron entre ellos, manteniendo la relación de 10Kg de estiércol por cada Kg de hojas, para tener una mezcla homogénea y con una densidad adecuada. Una vez terminados los primeros lotes, se comenzaron a hacer los siguientes manteniendo la misma proporción. Además, la inspección física y visual es de mucha utilidad.



Ilustración 39. Mezcla de los cuatro lotes. Fuente: Manuel Moreno



Ilustración 40. Primer llenado del digestor. Fuente: Manuel Moreno.

Para el llenado, se utilizaron bidones de metal de 100 litros. En primer lugar se añadían 25 Kg de estiércol y 2,5 kg de hojas. Después se añadían entre 50 y 70 litros de



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

agua dependiendo de la composición de ese lote. Estimando que en la mezcla final la proporción estiércol/agua fue de 1:2.

Antes de eso, se habían triturado las hojas en trozos menores a 5mm. Una vez hecha la mezcla, se dejó reposar cada bidón una hora aproximadamente. Una vez esperado, se mezclaba y disgregaban las partes sólidas hasta conseguir un lodo uniforme en el color y en el tacto.

Para transportar el estiércol, se contó con la ayuda de mucha gente que lo recogió con palas y lo trajo en tres carretillas. El transporte del agua fue más complicado, ya que la fuente se encontraba a más distancia. Por ello, se utilizó un carro metálico tirado por dos vacas. Con una cantidad grande de bidones de entre 20 y 200l se recogió toda la necesaria en tres viajes.

Estimación del biogás producido por la carga diaria.

Para calcular este dato, hay que saber el volumen total de mezcla del digestor. Para ello, basta con saber que sólo se llenó un 80% de la altura del tanque, dejando los 400l restantes para almacenar el gas. Por tanto, de esos 1600 litros, 500 kg estarían conformados por estiércol fresco, 50kg de hojas y el resto por agua.

Dividiendo la cantidad de materia orgánica d contenida en el tanque entre los 38 días que resultaron ser el tiempo de retención, se obtienen 13,5 kg de estiércol y 1,35kg de hojas secas.

Según los datos recogidos por Varnero y Arellano en 1991, teniendo en cuenta la proporción de lípidos, carbohidratos y proteínas de los diferentes compuestos. La producción de biogás estimada por cada Kg humedo de estiercol vacuno será de 0,04 m³. En el caso de las hojas secas, la estimación ronda los 0,58 m³ por kilogramo. Teniendo en cuenta los datos de carga diaria del párrafo anterior, el digestor diseñado producirá:

1,3 m³ de biogás al día

Al usar la fórmula de los gases ideales, para comprobar la presión ala que quedaría atrapada semejante cantidad de gas, fue una sorpresa comprobar que rondaría las 11 atmósferas, lo cual es imposible.

Dado que el recipiente es de unos 400 l. Era necesario utilizar buena parte del biogás diariamente, pues debido a la instalación de la válvula de seguridad, Todo el gas que no utilizado a partir de 0,3 metros de columna de agua de diferencia con el exterior se perderá. Debido a los daños ambientales que produce el metano libre en la atmósfera, se decidió cambiar la mezcla diaria.

Para evitar este problema, se redujo el número de hojas planificado en un primer momento. En el momento de esta decisión, se habían introducido alrededor de 5 Kg de hojas en el interior del tanque. Dado que los rangos de C/N son adecuados con o sin hojas, no hubo problema en realizar ese cambio. Además, tras recoger unos cuantos Kg de hojas



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

del suelo, se tomó consciencia del duro trabajo que significaba recoger un kilo de hojas todos los días.

Tras este reajuste, se volvió a calcular la tasa diaria de producción de biogás. La nueva proporción calculada, significa que el contenido total del tanque estará compuesto por 570 kg de estiércol y el resto de agua. Esto supone que la carga diaria ronda los 15 kg y el volumen de gas producido diariamente es de alrededor de 600 m³, una cantidad más adecuada para las dimensiones del tanque.

En cualquier caso, se informó del cambio de parámetros a los granjeros encargados de la mantención de la planta. En el caso de que el uso fuese muy regular y la cantidad de biogás fuese pequeña, podrán volver a introducir hojas en la mezcla para aumentar la producción.

Para ayudar al arranque de la reacción, se añadió un activador biológico para procesos colectivos o industriales. La hoja de especificaciones se adjunta al final.

4.1.5 Seguimiento de la evolución del biodigestor

A continuación, se detalla el proceso de seguimiento del digestor desde su arranque. Las medidas de pH se hicieron mediante bandas medidoras de acidez.

- 08/08/19 Se termina la construcción del digestor y se comienza la carga. T^a ambiente 28°C
- 10/08/19 Finalización del proceso de carga. T^a de la mezcla 25°. pH de la mezcla, 7,2. Se añaden dos bolsas de activador biológico.
- 11/08/19 – 19/08/19 Fase de espera. El autor se ausenta durante una semana. Por un error de información se abre la tapa superior del contenedor unos minutos el día 14. Hubo una confusión entre la válvula de gas y la tapa superior. No era un error contemplado y se comienza a contar desde el día 14, pues el oxígeno ha roto cualquier condición de estanqueidad.
- 20/08/19 Instalación de la tubería de gas y sistemas de seguridad. Comienza a abrirse la válvula de purga para liberar oxígeno de la mezcla, no se aprecia una cantidad importante de aire expulsado. La cámara de aire no se hincha. No parece normal pues en este momento, debía haber comenzado la liberación de gas. El pH sigue siendo el adecuado, 7,4. T^a diurna 27°C, T^a nocturna 8°C.
- 22/08/19 La presión sigue sin subir. Se aplica un revestimiento de silicona en la tapa superior del tanque. Parece ser que el gas puede estar escapando por ahí. El autor tiene que marcharse para atender otros proyectos. Encargados del proyecto mantienen al tanto de la evolución del digestor. Las temperaturas se mantienen estables.
- 02/09/19 La presión de la cámara de aire es significativa. Se confirma que el problema



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

era la falta de estanqueidad de la tapa superior. Se libera algo del gas, el olor no es significativo. No es inflamable. Se purga todo por tener un alto contenido en CO₂ y oxígeno.

- 03/09/19 Se añade una carga diaria de mezcla para comprobar el estado del efluente. La carga fluye de manera adecuada, el efluente sale con un pH de 7,6. Tiene un olor desagradable y atrae moscas. Esto es un signo de que la reacción es incompleta.
- 10/09/19 La presión dentro del tanque ha subido considerablemente. En comparación a cualquier otro momento, la cámara de aire se encuentra tensa (Ilustración 17). Se prueba a quemar el gas. No combustiona, se purga de nuevo el sistema para limpiar el biogás, el olor del gas es considerablemente más fuerte que la última vez.
- 14/09/19 La válvula vuelve a estar llena. Trata de quemarse el gas, no combustiona. El olor a huevo podrido es fuerte. Se vuelve a cargar con la carga diaria para comprobar el estado del afluente. Fluye correctamente, la temperatura del afluente es de 26°C, el olor no es ni mucho menos tan intenso como la última vez. No atrae moscas. pH 7,5. Parece que la reacción se acerca a su tiempo de retención. Se purga el gas de nuevo.
- 15/09/19 El autor debe marchar de vuelta a España. En la última visita al digestor, no ha habido un aumento suficiente de la presión como para probar si el gas es adecuado para la combustión.
- 21/09/19 El autor es informado de que el gas ya es combustible y se ha empezado a utilizar en cocina. Al final el trabajo da sus frutos.

4.1.6 Conclusiones:

La principal conclusión sobre este primer biodigestor fue la viabilidad de producir biogás en un ambiente rural utilizando exclusivamente material local. Por otro lado, la importancia de implicar a las personas que mantienen el digestor, para que puedan apreciar las ventajas que puede traer a sus vidas y a sus bolsillos es importante. Tras el primer malentendido, se preparó una guía completa con todos los pasos a seguir para un buen mantenimiento y uso del digestor. En ella, se especificaba el nombre de cada una de las partes, dejando claro cuales debían abrirse en cada momento.

En cuanto a las mejoras, es evidente que hubo cosas a mejorar, especialmente los





UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

errores de comunicación, de cálculos sobre la composición de la mezcla y de demasiada confianza en los materiales y partes de un tanque comercial. En cualquier caso, el primer digestor se terminó de manera satisfactoria.

Una vez había regresado, se me informó de que, siguiendo mi consejo, se protegió el área alrededor del digestor y se enterró la tubería de gas para evitar tropiezos o problemas.



4.2 Modelo con lona de PVC en Chipata Village

4.2.1 Justificación de construcción y descripción del entorno

La aldea de Chipata, se encuentra en la región norte de Zimbabwe, a unos 100 km al este de Dotito. Se trata de una zona con gran cantidad de granjas. Esta fue una de las razones principales para su selección. Tras correrse la voz de que se había instalado un biodigestor en la zona de Kazai, varias personas solicitaron que se impartieran formaciones para entender mejor la tecnología y el proceso constructivo. Dado que el digestor de Nowetza se encontraba en fase de espera, se tomó la decisión de aceptar.

La granja seleccionada daba trabajo a más de cincuenta familias que conformaban la aldea que se extendía alrededor. Su principal cultivo era el trigo, aunque durante los meses siguientes, se iba a comenzar con la siembra del tabaco. Además, había más de 50 vacas, unos veinte cerdos y multitud de aves. En ese momento, se estaba acondicionando una de las casas para acoger el albergue de una granja escuela. Un lugar con afluencia diversa, mucha presencia de estudiantes y que forma parte de la red de granjas que se extienden al norte del país, se consideró adecuado.

A la hora de encontrar el lugar adecuado dentro de la finca, había que encontrar un equilibrio entre la distancia de la casa donde se usaría el gas y los quemaderos de tabaco donde quería instalarse una tubería para estudiar la posibilidad de secar el tabaco utilizando biogás. Además, la granja disponía de grandes reservad de aguas en un tanque cercano a la casa. Por otro lado, el corral de las vacas se encontraba a unos 500m de la casa. La decisión final fue instalarlo a unos 30 metros de la casa, quedando a unos 25 metros del quemadero de tabaco más cercano. Se decidió instalarlo fuera del recinto porque había animales como perros y aves que podían dañar la lona. Sin embargo, se utilizó la valla metálica para proteger un lado del digestor. El único defecto del espacio elegido fue que en comparación con otros lugares, disponía de menos horas de sombra.

4.2.2 Materiales necesarios y presupuesto

Todos los materiales que se utilizaron fueron adquiridos en Harare. La lona de PVC se tomó del sobrante del proyecto de la piscifactoría, sin embargo, se ha incluido en el presupuesto para dar una idea más real del precio completo del digestor. Todos los precios dados están en dólares americanos.

Materiales utilizados:

- Lona de PVC 2,5 micras de grosor. 40m². 55 USD.
- Tubería de PVC de 115 mm. 4 metros. 5 USD.
- 3 x válvulas “llaves” de gas para la apertura y cierre. 8 USD.
- 2x ramificación en T para la tubería de gas. 3 USD.
- Tubería de gas de 15 mm. 5 m. Se utilizaron otros 30 metros de tubería después, sin embargo, esta estaba disponible en la granja. 10 USD.
- 8x abrazaderas de acero inoxidable. 4 USD
- 40 x ladrillo de arcilla. **



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

- Bolsa de cemento. **
- Botella de agua de 5 litros. **
- Manguera transparente 2 metros. 1,5 USD.
- Alambre. **
- Pegamento de PVC. **
- Adaptador de plástico roscado. (Macho-hembra). 1 USD.
- Goma para sellar juntas. **

Herramientas utilizadas:

- Pistola de calor 2200 W. 14 USD.
- Sierra.
- Paleta de cemento
- Picos
- Palas
- Cutter
- Cuchillo
- Cinta métrica
- Cuerda
- Nivel

** Los productos fueron prestados o estaban disponibles en la granja.

El presupuesto no incluye la mano de obra, el transporte o la compra de las herramientas que se utilizaron con excepción de la pistola de calor. En este caso, no se instaló quemador durante la semana de trabajo, sin embargo, tiempo más tarde se construyó uno destinado a la cocina y otro para secar el tabaco. Estos, se construyeron con tubo de cobre y juntas en “T”. Según se informó, el precio de esto fue de 12 usd.

Presupuesto final: 113,5 dólares americanos. A esto debería añadirse el precio de los 30 metros extra de tubería de gas que dejaría el precio final alrededor de 130 usd.

4.2.3 Proceso constructivo y arranque

1. Preparación del lugar:

En este caso, se eligió un espacio con multitud de ramas, malas hierbas, rocas y otros objetos potencialmente peligrosos a la hora de provocar tropiezos o caídas. Por esto, fue importante limpiar y despejar la zona. Además de tener un área más limpia, se utilizaron muchos de los objetos retirados, especialmente rocas y zarzas para delimitar un área de seguridad alrededor de digestor.



Ilustración 41. Espacio elegido antes de comenzar a cavar. Fuente: el autor.

2. Excavación de la zanja:

Este modelo de digestor se construye semienterrado. Para ello, se hizo una zanja de 8 metros de largo por 1 metro de profundidad aproximadamente. La parte de la bolsa que queda por debajo del nivel del suelo es la que se rellena con mezcla. Toda la parte superior, queda así libre para llenarse con gas.

Para la realización del agujero se contó con la ayuda de cuatro trabajadores. Se encontraron cantidad de rocas en el lugar del agujero, lo que dificultó bastante el trabajo. Además de romperlas y retirarlas, hubo que ensanchar el agujero para poder rellenar estas zonas con tierra fina para evitar pinchazos en la bolsa.



Ilustración 43. Trabajadores cavando. Fuente: el autor.



Ilustración 42. Agujero antes de limpiar el área. Fuente: el autor.

En este caso, se contrató a cuatro jóvenes de la zona para ayudar con el agujero. El pago se acordó en 5 dólares a cada uno de ellos por el trabajo completo. El agujero se terminó en unas 4 horas. Este salario es extremadamente alto comparado con los treinta dólares que cobraban por dos semanas de trabajo desplazados de su casa.



Ilustración 44. El resultado final con la zona de trabajo despejada. Los sacos de la derecha contienen heces de vaca y cerdo y rastrojo de trigo. Fuente: el autor.

3. Preparación de la bolsa, unión con las tuberías e instalación.

La preparación de la bolsa es el trabajo principal a la hora de construir este tipo de digestores de lona. En primer lugar, se cortaron dos tramos de 9 metros de la lona que formará la bolsa más adelante. Después, se cortaron los dos tramos de tubería y se cubrieron con lona los puntos de contacto con la bolsa. Para conseguir una unión sin fugas, se fundieron la lona y la tubería con la pistola de calor.



Ilustración 46. Preparación de la lona de PVC. Fuente: El autor.



Ilustración 45. Preparación de las tuberías. Fuente: El autor.

A continuación, se procedió a la unión de las dos partes de la lona, para formar un tubo cerrado. Para esto, se extendió en el suelo y con la ayuda de una guía de madera se solaparon las dos partes. Aunque la lona es bastante resistente, se hicieron algunos pinchazos en esta. Para repararlos, se pegaron trozos pequeños del mismo material y se fundieron fácilmente.



Ilustración 47. Debido a las pocas horas de corriente eléctrica disponibles, la gran mayoría del trabajo se realizó a oscuras. Fuente: el autor.



Ilustración 48. Unión de las partes mediante el empleo de calor. Fuente: El autor.

Una vez se cerró la primera unión, fue hora de colocar la salida superior del gas. Para ello, hubo que perforar la lona, más tarde, se introdujo el tubo roscado que se aseguró con tuercas de plástico por ambos lados. Para evitar cualquier fuga, se reforzó la unión con una goma que la sellase completamente.



Ilustración 49. Tubo de salida del gas. Fuente: el autor.

Una vez instalada la salida del gas, el próximo paso fue unir las tuberías de entrada y salida a la bolsa. Para ello, se hicieron 6 cortes. Uno en cada lateral y otros dos en cada una de las paredes de la bolsa. Después, se introdujo la tubería, se plegó el plástico sobre esta y se selló. Por último, se selló el plástico que se había colocado previamente alrededor de la tubería. El proceso fue muy tedioso y la ejecución fue a altas horas de la madrugada, único momento del día en el que entró la red. En la primera prueba, se detectaron fugas en una de las uniones, por lo que hubo que reforzarla con otra capa de lona de pvc. El resultado final fue bueno. La unión era fuerte y no hubo más fugas.



Ilustración 50. Unión de la tubería de salida.



Ilustración 51. Parche sobre la fuga.



Ilustración 30. Unión de la tubería de entrada.

Tras finalizar la construcción de la bolsa y comprobar que no hubiese ninguna fuga, el siguiente paso fue instalarla en su lugar, sellar el silo de entrada (pues en este caso se construyó antes de colocar la bolsa) e instalar toda la tubería de gas. Con el objetivo de proteger la bolsa de posibles pinchazos, se rellenó el fondo del agujero con una cama de paja. Además, se puso una capa de plástico a modo de suelo.



Ilustración 54. Suelo protector para evitar pinchazos.



Ilustración 53. Momento de la instalación del digestor.



Ilustración 52. Biodigestor instalado antes de ser llenado.

Para la instalación del sistema de gas, se utilizó el mismo sistema que en el modelo de Dotito, a excepción del gasómetro, una tubería de 15mm, válvula de apertura y cierre a la salida de la bolsa, sistema de seguridad por tubo sumergido, llave de purga y tercera válvula de cierre pensada para ser instalada antes del quemador de gas. En este caso, el sistema de agitación era mecánico desde el exterior de la bolsa que podía ser sacudida y agitada con facilidad. Dado que en este caso trabajamos con una bolsa elástica de mayor capacidad y que no necesita comprobación para saber si está llena se optó por retirar la cámara de aire del diseño.



Ilustración 55. Tubería para el gas con sistema de purga, válvula de seguridad y final ampliable para la conexión de una tubería mayor.

En el caso del silo de entrada, se construyó de manera similar al que se hizo en Dotito, pero con bastante más capacidad, alrededor de 100L. Además, por motivos estéticos, se decidió no hacer el emplastado exterior. Se optó por no construir piscina de salida puesto que la recogida del fertilizante con cubos facilitaba su transporte.

Antes de llenar el digestor con mezcla de materia orgánica decidió llenarse para la comprobación de fugas. Gracias a este método, se encontraron dos fugas que hubo que reparar pegando parches del material de la bolsa.

4.2.4 Cálculos y arranque

Al no ser un depósito rígido, como en el caso anterior, el primer paso fue calcular el volumen total de la bolsa, después, se dividió la parte que se rellenaría con agua y la parte reservada para el almacenamiento de gas.

Se construyó el digestor para que la altura máxima de la mezcla estuviese al mismo nivel que el borde de la fosa, por lo que para calcular la capacidad de carga de este, bastará con calcular el volumen del agujero.

La zanja, que se muestra en la figura, tenía 8 metros de largo y la forma trapezoidal mostrada.

$$\text{Volumen mezcla} = \frac{B_1 + B_2}{2} * h * L$$

$$\text{Volumen mezcla} = 4,8 \text{ m}^3$$



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Para calcular el volumen disponible de gas en la parte superior de la bolsa, bastará con calcular el volumen total de esta y restarle la parte destinada a almacenar la mezcla.

La bolsa se realizó uniendo dos lonas de PVC una de 1,5 m y la otra de 2,4 m de ancho. Para cada una de las dos uniones se invirtieron 10 cm de cada una de las bolsas, por lo que el perímetro final de la bolsa era de 3,5m. Esto significa que el radio de la bolsa estirada era de 0,557 m.

Por lo que el área de la bolsa es de $\pi R^2 = 0,97 \text{ m}^2$

Esto supone que el volumen total de la bolsa era algo menos de 8 m^3 , lo cual implica que el volumen reservado para el almacenamiento de gas era de $3,2 \text{ m}^3$.

Finalmente, la carga del reactor se realizó exclusivamente con estiércol vacuno, que tiene unas propiedades perfectas ($C/N = 25/1$) para su utilización exclusiva. En cualquier caso, se ofrecieron diferentes mezclas posibles. Están disponibles en el manual entregado a los responsables actuales de los proyectos. Adjuntado más adelante.

Siguiendo los cálculos realizados en el apartado anterior, se utilizó una proporción de agua de 1: 1,7 para obtener un % de sólidos totales del 10%.



Esto supone que la carga total del digestor se compone de 1780 kg de estiércol vacuno y 3000 litros de agua. Se tardaron 4 días en terminar de cargar el sistema.

La carga diaria en este caso, suponiendo un tiempo de retención de 40 días, es de 44,5 kg de estiércol y 75 litros de agua. Esto, supone una producción de gas estimada de $1,8 \text{ m}^3$ de biogás al día. Suficiente para cocinar durante 6 horas.

Ilustración 56. Biodigestor lleno. Fuente: propia.



4.3 Conclusiones generales y continuidad del proyecto

Las principales conclusiones tras los meses transcurridos son:

- La tecnología del biogás es viable y barata.
- Muchos ciudadanos y granjeros están mostrando su interés en la instalación de biodigestores.
- Zimbabwe reúne las condiciones para ser un caso de éxito en la producción de biogás.
- La instalación debe realizarse con suma rigurosidad, pequeños fallos pueden tener consecuencias fatales para el cumplimiento de los objetivos marcados.
- Involucrar a la comunidad haciéndola responsable y protagonista del proceso, es fundamental.
- Los beneficios ambientales del uso del biogás pueden ser muy grandes, especialmente en la reducción las emisiones de CO₂ y la lucha contra la deforestación.

La razón principal por la que se construyó este segundo digestor fue la posibilidad de que el proyecto continuase después de mi marcha. Durante las últimas semanas de estancia, conocí a Grace Chindenga y Henry Matarushe. Ella era graduada en ingeniería química de 31 años, él paisajista y ambientalista de 25. Debido a la escasez de trabajo en sus respectivos sectores, ella trabajaba como profesora en un colegio y él andaba en pequeños trabajos temporales.

Tras buscar muchas posibilidades para dar continuidad al proyecto durante los próximos meses, conocerlos fue una gran oportunidad. Ella había estudiado el biogás producido por deshechos humanos durante la carrera, siendo un marco teórico sobre su limpieza su proyecto final de grado. Durante la semana de construcción, ellos estuvieron presentes, aportando sus ideas y sobre todo aprendiendo y preguntando todos los aspectos a cerca del biogás y el diseño de biodigestor que les mostré.

Dado su conocimiento del tema, sus ganas de aprender y mi escaso tiempo allí, eran la mejor forma de que el proyecto continuase y el biogás comenzase a ser una opción en Zimbabwe. Fomentar el emprendimiento local y más el de una mujer, era uno de los objetivos marcados antes de comenzar. Por ello, quedaron al mando de la supervisión de ambos digestores, también se quedaron con las herramientas necesarias para la construcción de nuevos digestores así como de los fangos activos tan fundamentales para el proceso de arranque.

Actualmente, están controlando adecuadamente el desarrollo del digestor instalado en la región de Chipata. Pero, además de eso, están realizando diferentes experimentos en pequeños recipientes para determinar las proporciones más adecuadas, las diferentes posibilidades y el alcance que podría tener el biogás en su país. Sin duda, la tecnología está llamando la atención, pues un terrateniente local, les ha contratado para la instalación de un nuevo reactor para una de sus granjas. Si el proyecto va bien, existen muchas posibilidades de ir expandiéndose y profesionalizando los reactores más y más.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

Esta ilusionante idea, es la clave del éxito de este trabajo. El objetivo de esta estancia de dos meses en Zimbabwe, no era el de construir un biodigestor aislado para demostrar mis habilidades o ayudar a una familia concreta. Cuando me planteé el proyecto, había dos objetivos principales a realizar en estos meses:

1. Estudiar el país en profundidad para saber si la tecnología del biogás tenía sentido económico y ambiental. Tras el esfuerzo de conseguir tanta información y estructurarla de manera adecuada, llegué a la conclusión de que lo que quería hacer tenía sentido y era viable.
2. Encontrar las personas y los enclaves apropiados para, una vez estando de vuelta a casa, el proyecto pudiese continuar sin mi presencia y pudiese significar un cambio o un brote de esperanza para algunos. Tras conocer a Grace y Henry, supe que lo había conseguido.



Ilustración 57. Acompañado por Grace y Henry los actuales responsables del desarrollo del proyecto



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez



5. Memoria económica:

En este apartado, se trata la viabilidad económica del proyecto. Como se puede intuir, al haberse llevado a cabo, ha sido un proyecto viable y autofinanciado. Para ello, se han llevado a cabo varias acciones de captación de fondos, bajo el nombre de “Project Zimbabwe”.

Durante el curso académico, se realizaron dos mercadillos solidarios, un concierto benéfico, un crowdfunding y se creó una línea de merchandising de Project Zimbabwe para financiar los proyectos. Aquí se ven algunos de los carteles utilizados para la difusión. Todas las donaciones que han privadas, se han gestionado a través de la Fundación de Ingenieros de ICAI.



Ilustración 58. Cartel "Desfasa por una causa" fiesta solidaria a mediados de marzo.
Fuente: propia.



Ilustración 59. Cartel mercadillo solidario.
Fuente: propia.

Entre la fiesta (más de 3000 euros), los mercadillos (casi 6000), el croudfounding (1500) y el merchandising (3200); Se recaudaron casi 15.000 euros.

Además, se recibieron las donaciones de empresas privadas y artistas. La pintora Cristina Crespi, donó dos cuadros que fueron vendidos por más de 800 euros y empresas como Price Waterhouse and Coopers, Auara o IndiGO, hicieron importantes donaciones económicas.

El presupuesto recaudado finalmente, fue de unos 30.000 euros.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

A la hora de realizar un estudio de impacto para evaluar el uso de ese dinero, intervienen multitud de factores muy difíciles de controlar, cuyo estudio sería suficiente como para la elaboración de un trabajo completo. Basta con decir que con ese dinero se llevaron acabo todos los proyectos planeados, dando agua corriente a alrededor de 500 personas, construyendo un colegio en el que se podrán formar entre 60 y 80 personas al año, dando empleo a más de 20 personas que colaboraron con Child Future Africa, construyendo una piscifactoría que producirá 6000 peces al año e implantando una tecnología energética nueva que puede crecer si se gestiona bien.

El coste total del proyecto de biogás fue de 511 dólares americanos, unos 462 euros. Sin embargo, para su construcción se contó con más de una docena de voluntarios que trabajaron por el desarrollo de su comunidad sin incentivo económico. Además, el transporte tampoco se ha tenido en cuenta a la hora de hacer este presupuesto. Por supuesto, ninguno de los cooperantes involucrados cobró nada por sus servicios.



Anexo C: Otros proyectos desarrollados en Dotito.

C. 1. Escuela de soldadura.

Durante la última semana de estancia en la aldea de Kazai, en los alrededores de Dotito, se dio un curso de soldadura para los que en consideración del equipo fueron los voluntarios más aplicados durante la construcción del Vocational Training Centre, uno de los proyectos principales desarrollados.

Para ello, se había transportado desde España todo el equipo necesario:

- Equipo de soldadura por arco revestido CEVIK CE Evolution-18 140 A.
- Electrodo de 2,5 y 3,2 mm
- Máscara de soldadura
- Guantes de protección
- Gafas transparentes
- Amolladora de 230 mm
- Discos de radial

Además, fue necesario comprar:

- Cable alargador de 50 metros
- Perfiles de acero:
- Perfil tubular de 50mm de diámetro y 2 mm de espesor. 6 metros
- Pletina de acero 30x2mm. 6 metros
- Perfil L 40x40x5. 6 metro
- Botas de seguridad.

El taller de cinco días, se dividió en las siguientes partes:

Día 1: Introducción teórica a la soldadura, descripción y ejemplos de la técnica, condiciones de seguridad y uso de la amolladora.

Día 2: Refuerzo de condiciones de seguridad, realización de varios cortes con amolladora, ejemplos prácticos de soldadura y primeras pruebas con la máquina.

Día 3: Realización de varios cordones de soldadura. Se utilizó chatarra y recortes inútiles.

Día 4: Propuesta de proyecto final, diseño y comienzo.

Día 5: Entrega y calificación del proyecto final.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

El desarrollo del taller, se dio en paralelo con la reparación de los columpios del Colegio de Primaria de Kazai, que se encontraban en un pésimo estado. Aprovechando que la escuela era el único sitio donde se podía acceder a la corriente eléctrica de la zona, se trabajó allí durante un día y cuatro noches. El trabajo tuvo que hacerse por la noche porque las cuatro o cinco horas en las que funcionaba la corriente solían ser de madrugada.

Aunque sería interesante repasar todas las técnicas utilizadas, los valores de la corriente y si esta fue directa o inversa para los diferentes cordones de soldadura; no es posible realizar un estudio tan exhaustivo de la soldadura. Bastará con relatar el método de trabajo y mostrar con imágenes el resultado del mismo.



Ilustración 60. Estado de los columpios antes de su reparación.

El pésimo estado de los columpios a penas se puede apreciar en esta imagen de baja calidad. En el caso del columpio, faltaban dos de las patas, por lo que se encontraba apoyado contra otra estructura del complejo. Además, faltaba uno de los dos asientos y una de las dos patas que se encontraban unidas al resto de la estructura estaba partida por la mitad.

Durante la primera jornada, se explicaron las medidas de seguridad fundamentales en este tipo de trabajos. Se hizo especial hincapié en el uso de los equipos de seguridad y el riesgo de mirar directamente sin máscara una soldadura. Además, se introdujo la máquina, los electrodos y todas las partes de esta. Después se tomaron medidas de las diferentes partes del columpio. Después, se hicieron unas cuantas demostraciones de uso con la radial, para más tarde dejar a los alumnos realizar los primeros cortes.



Ilustración 62. Clever, uno de los alumnos, utilizando la amolladora.



Ilustración 61. Ngoni, otro de los alumnos soldando una parte de su proyecto.

Durante las siguientes dos jornadas, fueron realizando los cortes adecuados para las partes necesarias de los columpios. Además, se les fue permitiendo utilizar el equipo de soldadura, primero en pequeños recortes o deshechos inútiles de metal. Una vez fueron cogiendo soltura y se vio una mejoría en la habilidad para soldar, se les propuso comenzar su proyecto personal.

A la vez, se fueron soldando las partes cortadas por ellos a la estructura del columpio. Dado que es un artilugio que soporta ciertos esfuerzos y lo usan niños, se pusieron multitud de refuerzos de seguridad en cada unión. En la pata que hubo que alargar, se soldaron tres perfiles en L alrededor del cordón que unía los dos perfiles tubulares. Esto aportó una resistencia muy grande a la unión. En el caso de las uniones en la parte superior, fueron de mucha dificultad pues el material no estaba en el mejor estado y el autor nunca había realizado ese tipo de soldadura. Tras utilizar la técnica de relleno de huecos según estaba descrita en el “Manual de Soldadura por Arco Eléctrico” de Ediciones Ceysa redactado por Cano Pina, se consiguió una unión de buena calidad. Además, se reforzó con varios tirantes que unían las dos patas a varias alturas. Además, se colocaron refuerzos en la unión entre la barra horizontal y las dos diagonales. Esto se hizo para hacer más resistente la unión a cualquier esfuerzo de torsión que pudiese producirse. Después de comprobar la seguridad de las uniones, de varias formas (golpeándolas con martillo, colgándose de los extremos de la pata o someténdola al peso de cinco hombres adultos), se consideró adecuada.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

El resultado de esas dos noches de trabajo, fue el siguiente:



*Ilustración 64 Soldadura en la unión de los tres postes.
"Algo barroca , pero resistente"*



Ilustración 63. Cimentación del columpio de 45 cm de profundidad.



Ilustración 65. Resultado de la estructura antes de pintar.

Una vez terminado el trabajo principal que se había ido a hacer, se propuso a los dos alumnos desarrollar su propio proyecto. El objetivo era realizar una parrilla para su fuego. Este, es un instrumento muy común en las cocinas tradicionales de Zimbabwe. Dado que se cocina a fuego, una estructura metálica resistente y adecuada para colocar ollas, cazos e incluso animales, es un elemento fundamental en toda cocina.

Para esto, se les propuso diseñar su propio modelo, dibujarlo y medir el material que iban a necesitar para saber si era suficiente. Una vez presentaban al profesor su idea



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez

y este comprobaba su viabilidad y la cantidad de material necesario, se les autorizaba para comenzar. El objetivo de este trabajo final, era el de hacerles ver el proceso completo de diseño de un objeto básico, implicarles en su diseño y toma de decisiones y premiarles con un regalo con el que llegar a casa e impresionar a sus familias.

La respuesta que dieron fue excelente y tras varios minutos pensando, transmitiendo sus ideas, preguntándose por la viabilidad de sus diseños y aceptando recomendaciones; se pusieron manos a la obra. El resultado fue sorprendentemente bueno, además, ellos quedaron muy satisfechos con el resultado.

Aquí se muestran alegres con sus diseños terminados.



Ilustración 66. Los alumnos con los proyectos finales.

Por último, se pintaron los columpios, dando por terminado el proyecto.



Ilustración 67. Balancín reparado, antes separado en tres partes inutilizables.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez



Ilustración 68. Columpio terminado y decorado.



C.2 Huerto ecológico para las mujeres

Durante la primera semana de estancia, se preparó una pila de materia orgánica (heces de vacas, hojas secas y paja triturada), para la elaboración de compost. Siendo esta una de las alternativas principales del plan original, se había estudiado mucho las posibilidades y las ventajas del compostaje. Para acelerar el proceso, se añadieron a la pila unas pastillas de RapidCompost, un producto comercial que contiene gran cantidad de bacterias responsables de la degradación de materia orgánica. Con este sistema, según los datos del vendedor, se podría reducir el tiempo de compostaje de seis a tres meses.

A la hora de hacer la pila se tuvo en cuenta:

- Proporción de Carbono nitrógeno adecuada de la mezcla. En torno a 30/1.
- Cantidad de humedad adecuada. (Medida mediante la técnica del puño cerrado).
- Espacio óptimo, protegido de animales, viento y de la sombra para evitar radiación.

Durante las siguientes semanas, se fue volteando semanalmente, humedeciendo con cierta frecuencia y comprobando el aumento de temperatura en su interior que confirmaba que el proceso se estuviese desarrollando.



Ilustración 69. Estado del compost tras 7 semanas. Fuente: propia.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

Carlos Ruiz Díez

Durante la última semana, se construyó un recinto adecuado, para la creación de un huerto ecológico. Se explicó a las mujeres las ventajas de la agricultura ecológica y se compraron semillas de: cebollas, dos clases de tomates, zanahorias, calabazas, ajos, repollo y espinacas. Plantaciones autóctonas de fácil cuidado.



Ilustración 70. Con las mujeres de la comunidad y su nuevo huerto. Al fondo la pila de compost. Fuente: propia.

Por último, se creó una cama de semilleros para favorecer el crecimiento de los primeros brotes antes de ser trasplantados.



Ilustración 71. Semillero. Fuente: propia.

El presupuesto total del proyecto fue de 42 dólares americanos, incluyendo la vaya y las semillas.



BIOGAS:

Construction and maintenance
of a successful
biogas digester.

Carlos Ruiz Díez

30-08-2019

(Harare) Zimbabwe.



Index:

1. What is biogas?
2. What is anaerobic digestion?
3. Determinant factors in the process
4. Most common digesters in rural areas.
5. Components and management of digesters.
6. Daily use and security facts.
7. Biofertilizer: characteristics and uses.



This manual is only made for the
construction and maintenance of small home digesters
with less than 10 m^3 capacity.



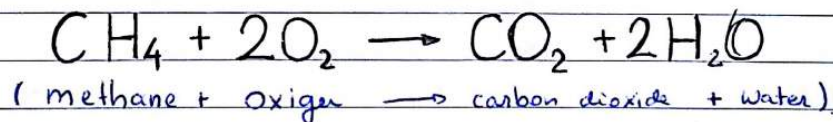
1. What is biogas?

Biogas is a gas resulted from the anaerobic fermentation of Organic material.

The main component of biogas is methane (CH_4) but the presence of carbon dioxide (CO_2) is also important. Those two should mean 99,5% of the biogas composition. The rest is composed of other gasses like sulfure acids (H_2S).

ONLY IF METHANE'S AMOUNT IS MORE THAN 50% OF TOTAL BIOGAS COMPOSITION, IT WILL BE ABLE TO BURN

COMBUSTION OF METHANE:



As every combustion process, air (oxygen) is needed for it to happen.

	ENERGETIC VALUE COMPARATION		
	BIOGAS	NATURAL GAS	METHANE (CLEANED BIOGAS)
Heat power (Kwh/m ³)	6.0 - 7.0	10.0	10.0
Burning Temperature.	687 °C	650 °C	650 °C



GENERAL CHARACTERISTICS OF BIOGAS.

COMPOSITION	55-70% methane 30-45% CO ₂ other gas traces
ENERGETIC VALUE	6 - 7 kWh/m ³
PETROL EQUIVALENT	0,6 - 0,65 L petrol/m ³ biogas.
EXPLOSIVE LIMIT	6 - 12% biogas in the air
IGNITION TEMPERATURE	650 - 750 °C
Density (27°) kg/m³	1,2 kg m ³
Smell	rotten egg

As we can see, biogas is very similar to natural gas, in terms of heat power. This means, that in terms of energy, 1 m³ of biogas will be equivalent to 0,7 m³ of natural gas, 0,6 L of petrol or 2,5 kg of wood.

BIOGAS USES

- Tobacco drying

- Cooking consumes (0,3 m³/h)
- Lighting consumes 0,07 m³/h

- Heat water consumes (0,5 m³/h)
- Electricity generation - (Adapted generator).
Consumes 0,7 - 0,8 m³/kWh

- * Can fuel ^{consume is depending on the car and driving skills} (That means, with 7 m³, you can run a 1000W generator for 10 hours or a 5000W for 2h).

- * For this uses is important to clean biogas first, to get as much methane concentration as possible removing every other gases.



2. What is anaerobic digestion?

Anaerobic fermentation, is a complicated biochemical process, where more than 100 of different bacteria decompose the organic material and as a result of this, methane gas is produced.

The word ANAEROBIC means oxygen (O_2) must not be present in the fermentation. That is why, it is very important that our digester is well closed, so air doesn't come in.

It is important don't getting confused with the word AEROBIC, wich means the oposite.

An example of AEROBIC FERMENTATION, (In presence of O_2) is compost production from organic waste.

The process, is composed by four different phases, but it is not interesting to go further or deeper in them. In terms of our use, the most important fact is to know that Organic material is formed by three different components: Proteines, CARBOHYDRATES AND LIPIDS (FAT).

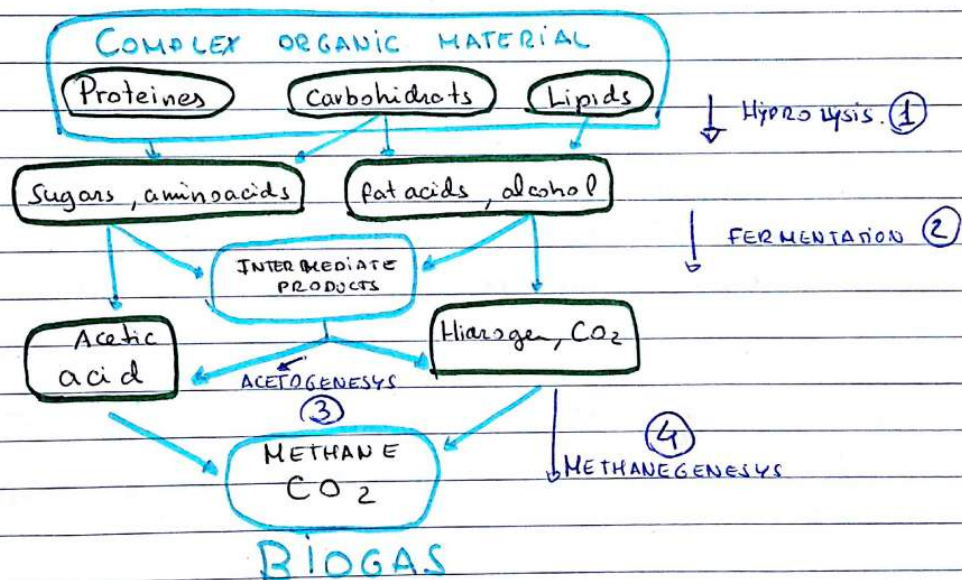
Carbohydrates, like cellulose or lignine, are the ones will take longer to decompose, that's why it is really important to break ~~the~~ in tiny pieces ($< 3mm$) any organic material with high carbohydrate proportion.



All the vegetable waste, such as wheat, rice or maize straw as well as dry leaves, have between 45% and 80% of carbohydrates. That's why, if added, they need to be cutted in small parts, or macerated in water before added to the digester.

Animal waste, has also a big amount of cellulose and lignin, (55% - 75%). Keep the waste in water for some days and brake it in smaller parts will be very helpfull.

Diagram of the anaerobic fermentation



Those are the four principal phasses of the full process



3. DETERMINANT FACTORS IN ANAEROBIC PROCESS.

3.1. COMPOSITION OF MATERIALS.

What can we ~~comp~~ use to produce biogas?

Animal waste: feces (manure), urine, blood, fish...

Vegetable waste: stubble, dry leaves, straw, branches...

Human waste: feces, urine...

Aquatic waste: aquatic weeds, algae.

Depending on the type of feeding, the produced biogas and biofertilizer will have different properties. It is recommendable the use of animal waste, because it will provide a good amount of mineral salts, needed in the process.

The source of feeding will also influence in the type of bioreactor used. As we are interested only in farming waste for the moment, we will focus in the appropriate technology for it.



3.2. Carbon/nitrogen relation

Every organic material is able to produce biogas, but the bacteria involved in the process needs certain nutrients. Carbon and Nitrogen are their principal source of feeding. But this bacteria "eat" around 25 to 30 times more Carbon than nitrogen. If the amount of Carbon/Nitrogen would exceed 35, the bacteria would grow very slow. If this relationship is lower than 10, bacteria would die. That is why it is important to maintain a good balance between this two components.

How can we calculate the relationship of C/N?

Manure	C/N relationship	Veg Waste	C/N relationship
Bobbin (kettle)	25:1	Wheat	87:1
Porc	15:1	Maize	53:1
Fowl, chicken	19:1	Rice	67:1
Sheep	35:1	Dry leaves	41:1
Goat	40:1	Tomato leaves	12:1
Horse	50:1	Onion leaves	15:1
Human	3:1		
Goose	50:1		

$$K = \frac{(C/N \text{ of 1}^{st} \text{ waste}) \cdot \text{Kg 1}^{st} \text{ waste} + (C/N \text{ of 2}^{nd} \text{ waste}) \cdot \text{Kg 2}^{nd} \text{ waste} + \dots}{\text{Kg 1}^{st} \text{ waste} + \text{Kg 2}^{nd} \text{ waste} + \dots}$$

$K = \text{C/N total of the final product}$



Examples of calculation:

1. Feeding with pork manure + maize waste.
(1 kg) + (1 kg)

$$L_o K = \frac{13 \cdot 1 \text{ kg} + 45 \cdot 1 \text{ kg}}{1 \text{ kg} + 1 \text{ kg}} = \frac{58}{2} = 29 \checkmark \checkmark$$

Every kg of pork manure will need 1 kg of maize waste.

2. Feeding with kettle manure: ✓✓

$C/N = 25 \rightarrow$ Kettle manure is able to use it alone.

It would be ok to add a small amount of dry leaves.

3. Feeding with kettle manure and human faeces.
(1 kg) (0,4 kg).

$$K = \frac{25 \cdot 1 + 3 \cdot 0,4}{1 + 0,4} = \frac{26,2}{1,4} = 18,7 \text{ X too low.}$$

We can add some wet straw to increase the amount of C.

$$K = \frac{25 \cdot 1 + 3 \cdot 0,4 + 123 \cdot 0,1}{1 + 0,4 + 0,1} = \frac{38,5}{1,5} = 25,67 \checkmark \checkmark$$

Adding 0,1 kg of wet straw cutted in small parts, the final amount of C/N would be perfect. So we could feed our digester with 20 kg of kettle manure + 8 kg of human faeces + 2 kg of wet straw.



3.3. Total amount of solids

The amount of solids required in the mix of a continuous digester should be around 8 to 12%. That means that we have to add water in a good proportion for the correct working.

But it is important to say that organic matter has an important portion of water itself, so the amount of water required is depending of this percentage of solids.

How do we calculate it?

Animal waste	% of Solids	Vegetable waste	% of solids
Kettle (Cow)	13,4 - 56,2	Dry leaves	50
Pork	15,0 - 49,0	maize straw	27
Birds	26,0 - 92,0	wheat straw	89
Goat	83,0 - 92,0	rice straw	90
Sheep	32 - 45	taneto leaves	15
Horse	19 - 42		
Human	17		

$$\boxed{\% TS} = \frac{Kg^1 \cdot \% ST^1 + Kg^2 \% ST^2}{Kg^1 + Kg^2 + Kg^{water}}$$

Example: 20 kg of dry Pork manure (20% TS) + 3 kg of wheat straw (89%)
→ We want to have 10% of TS.

$$\rightarrow \boxed{0,10} = \frac{20 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,89}{20 + 3 + \text{Kg of water?}} \rightarrow \frac{20 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,89}{0,1} = 23 + \text{Kg}$$

→ $66,7 = 23 + \text{Kg water} \rightarrow$ We will need 43,7 l of water.



3.4. TEMPERATURE:

Temperature stability is basic for the optimal work of our biogas plant.

For us, the main work is maintain the temperature between 25-35°C. That will preserve the good conditions for the bacteria.

Fast temperature changes are not good for bacteria, that is why we buried our digester, so the changes of temperature won't affect the process.

3.5 Daily feeding:

Once the digester is operating, we have to calculate the amount of daily feeding required.

* Daily feeding includes the amount of water and solid waste.

For the calculation, we will need to know the volume of the digester and the retention time.

Retention time is the average time since 1st feeding and first biogas production. In Zimbabwe, this time should be between 30 and 50 days. But we will measure it since we are starting our process.

For a 1800 l digester with a retention time of 35 days, we will be adding $\frac{1800}{35} = \underline{51 \text{ l}}$ of feed every day

If the resultant fertilizer smells bad and attracts to flies, that means we have to wait more, so we will have a biggest retention time and less daily feed.



PH levels.

For a correct work of the digester, PH should be between 6-8.

If the PH goes under 6, fat acids will grow and the reaction will stop.

If that happen we have to STOP adding feed, so the acids will be destroyed and the pH will grow again. Once we have reached good levels, we can keep feeding it. If the level of feeding lead us to have a very low PH mix, we should add sodium bicarbonate or lime to increase it.

A PH too high, over 8 will produce too much ammonia and the process will stop. Usually the PH problems are related with low pH. ~~(but we won't have problems with that)~~



4. MOST COMMON DIGESTERS IN RURAL AREAS

There are a lot of ways to build a digester. Cement, PVC tanks, metal or ~~pvc~~ big plastic bags can be used.

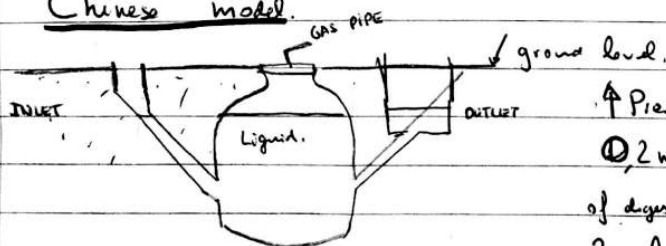
- Digester characteristics:

- Be hermetic, so the air cannot come in.
- Be isolated from big temperature changes
- Must have a security valve for high pressures.
- Having an inlet and an outlet.

- Type of digesters

- Continuous $\rightarrow$ the feeding is not interrupted. $\rightarrow$ Industrial use.
- Half-Continuous $\rightarrow$ feed it once and then every day a small quantity.
- Stationary $\rightarrow$ once is charged & feeded, you wait until all the fermentation is done. Then you remove every organic material and start again (Batch).

Chinese model.



$\uparrow$ Pressure

$\odot 2 \text{ m}^3 / \text{m}^3$ of biogas per volume of digester/day.

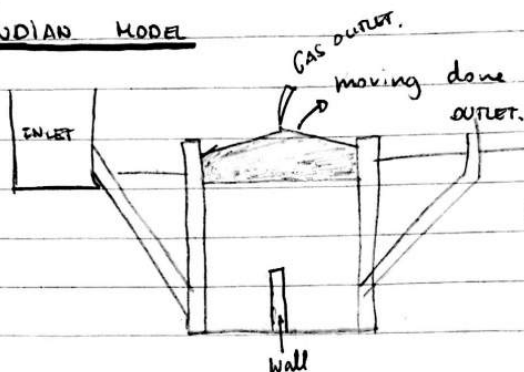
$2000 \text{ l} \rightarrow 4000 \text{ l biogas/day}$.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

Carlos Ruiz Díez

INDIAN MODEL



- Pressure is low because the dome is moving.
- Around $0,7 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{day}$
- 2000 l digester would produce 1400 l of biogas.

Batch



INLET AND OUTLET IS THE SAME.

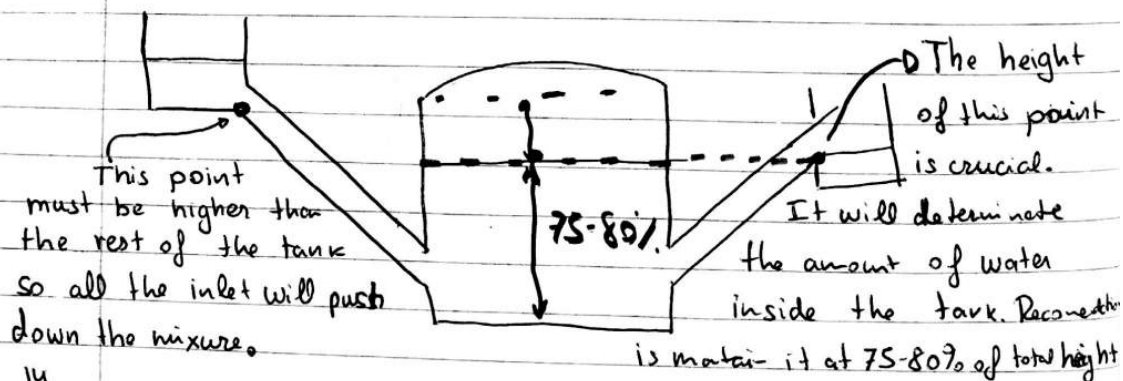
- You feed it every 2-3 months.
- It works with 40% of solid material (Less water renewal).
- The biofertilizer is solid (easier for sale).
- There is not continuous gas replacement.

Bag-digester



- The pressure is low.
- The amount of biogas is around $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^3$ of digester.
- Cheap and new technology.

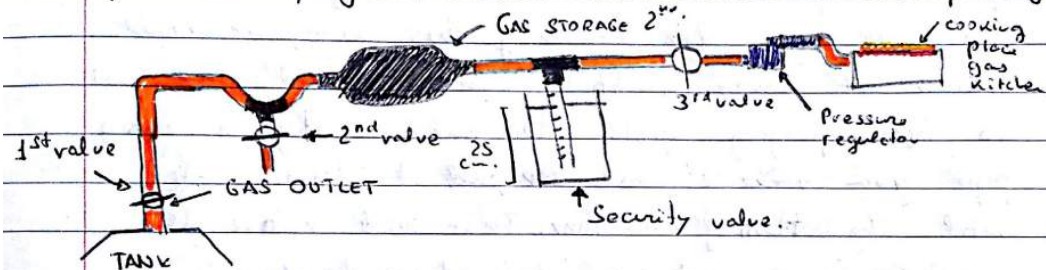
Pressure equilibrium.





5. COMPONENTS AND MANAGEMENT OF A DIGESTER.

Once we have understood all the main parts of the digester tank, we will focus in the gas pipe system trying to know what are all the parts for.



- 1st valve: once the digester is working, must be open all the time.
- 2nd valve: purging system. Will also be used for mixing the water. Must be closed unless we are purging the system.
- Gas storage: will contain gas so we can easily see the amount of biogas we have.
- Security valve: will maintain the pressure under 25 water column centimeters: 0,25 wcm*. It will also give us information about the amount of gas we have.
- 3rd valve: 2nd security valve, must be closed to avoid fuges unless we are cooking or using the gas.

15



- Pressure regulator: item that allows to flow nicely to the kitchen. If we don't use it, flames would be too big.

- Gas kitchen: for cooking.

* This (0,25 w.c.u.) will be the maximum pressure possible that means that if we don't use the gas after reaching this point, we would throw it away. In that case, it would be good to use purging system to mix the digester, taking pipe from valve 2° and ~~pull~~ pull it through inlet until the bottom of the tank. That will remove the possible foam crust on top of the liquid.



6. Daily use, management and security facts.

Runing stage:

It's good to fill up the digester with water before start using it. Once we have checked there are no likings. We can start the process, after removing $\frac{2}{3}$ of the water. the vent can stay there. ~~for~~

1st charge:

From the top part of the digester, we will fill up the tank until ~~the~~ the (waste+water) mix starts coming out from the outlet. Now our digester is at its full capacity. Then we will add active bacteria.

After this first feeding, and before closing the top part, it is important to remove the crust of foam that may appear on the mixture.

Remaving O_2 and CO_2

The valves must be opened for 7 days so all the O_2 will be removed. After that we will close it until the pressure rises up. Once the (pres) gas storage is full, we will keep open it for a while and close it again. We will do this for 10-15 days.



Biogas first production test.

After 15-20 days from first feeding we should verify if the production of biogas has started.

By this time, the gas storage will be full of gas. Without connecting the kitchen and the pressure regulator we will check if the gas is able to be burned.

If we have a strong blue flame, that means it is operating properly. If the gas is unable to burn, that means CO_2 levels are still high. We will open the purging system to remove All the gas. It is possible that we will have to repeat this two or three times.

Operating stage.

Once the digester is running normally, we will fill it up once a day.

Will fill up the inlet tank or a bucket with the amount of feeding we calculated in 3.5
Daily feeding.

It is advisable to put a plastic in the whole, to be able to wait 24 hours with the mixture ready. Then, we will ~~use~~ open the whole in the hottest time of the day. (11pm - 15pm).

And we will fill it up again for tomorrow's feed.



Maintenance

It is possible that at some point, the production of gas is decreasing rapidly.

If that happens, it is recommended to remove all the kitchen tools, and open ~~all the valves~~ 2nd valve. We will introduce it through outlet pipe to ~~per~~ break the crust with the gas. Then we will open all the valves so all the possible remaining water is removed. ~~It~~

After that, we will connect all the system again and work normally.

If the feed gets stucked in the pipe, that means it is too solid, so we will add more water.

If the smell of the fertilizer is too bad, that means the fermentation is not ~~completely~~ finish. We will extend our retention time.

Once a year we will take out all the waste from the tank, clean it and start again. A week before that, we will storage 300g of fertilizer so we can use this as active bacteria for next time.



Security facts.

It is recommended to protect the digester and the piping system from animals or small kids.

Any fuge of biogas, can be very dangerous being able to cause an explosion. The connections must be checked frequently, and it is not good to light fire around the digester.

Only trained people should use and proceed to the digester



NO SMOKING



NO FIRE



7. Biofertilizer: uses and characteristics.

The properties of biofertilizers depends a lot in the inputs of the digester. Anyway, as a result of fermentation, it will come a stabilized organic material with no pathogens.

This type of material has great capacities for the recuperation of degraded soils because of its amount of nitrogen and ammonium.

Oposite to chemical fertilizers that in the long term could damage the soil, ecological and natural fertilizer will provide a long life quality for soil.

It can be used for daily irrigation of different crops. It is a good idea to divide the land in different areas and add distinct amounts of biofertilizer to each of them. Then it's easy to compare results, adopting our use of biofertilizer to the best possible conditions.

* The fertilizer produced by a continuous digester will be liquid, that means it would be easy to spread but hard to sell. If we use a batch digester, we would get solid fertilizer, that after drying, would be easily saleable.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

Carlos Ruiz Díez

20/11

Chemical composition

Parameters	Biofertilizer
pH	7,9
MO (w-B)	45
MO (Calcium) %	58
N total %	1.8
P total %	8.4
K total %	0.7
C/N relation	25
Mineral N (mg/kg)	30
C.E. (ds/m)	14.4

Microbiological Composition

Biological activity (N° cels/ml)	1054
Microflora (N° cels/ml)	68
Fungi and yeast (N° cels/ml)	25
Nitrocellulose ferments (N° cels/ml)	1100
Nitric ferments (N° cels/ml)	50
Pathogens (N° cels/ml)	0



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
Carlos Ruiz Díez



Bibliografía:

- [1] Naciones Unidas: <https://www.un.org>
- [2] Transformar nuestro Mundo: la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, ONU
- [3] La Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas CEPAL.
- [4] Knoema: <https://knoema.es/atlas/Zimbabwe>
- [5] A Bitter Harvest: Child Labor and Human Rights Abuses on Tobacco Farms in Zimbabwe. Human Rights Watch. 2017
- [6] Banco Mundial: <https://datos.bancomundial.org/pais/zimbabwe>
- [7] Agencia EFE. <https://www.efe.com/efe/espana/sociedad/el-hambre-amenaza-a-mas-de-5-millones-personas-en-zimbabue-tras-las-sequias/10004-4038884>
- [8] United Nations News. <https://news.un.org/en/story/2019/08/1043861>
- [9] Maize in human nutrition FAO. <http://www.fao.org/3/t0395e/T0395E03.htm>
- [10] OEC <https://oec.world/es/profile/country/zwe/>
- [11] WITS World Bank Group
https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/ZWE/Year/2016/TradeFlow/Import/Partner/all/Product/16-24_FoodProd
- [12] Cuerpomente.com <https://www.cuorpomente.com/guia-alimentos/cacahuete>
- [13] Universidad Complutense de Madrid: Materia orgánica y actividad biológica
- [14] ONUSIDA Country factsheets Zimbabwe 2018
- [15] World Malaria Report Zimbabwe
- [16] President's Malaria Initiative US AID 2017- Zimbabwe
- [17] Susana Gomez Muñoz, Universidad Carlos III de Madrid. Diseño, construcción y puesta a punto de un biodigestor en Carazo Nicaragua. 2012
- [18] FAO, Ministerio de energía del Gobierno de Chile, Global Environment Facility, Programa para el desarrollo de las Naciones Unidas: Manual de Biogás, 2011.
- [19] Agencia andaluza de la energía, Consejería de economía innovación y ciencia. Estudio básico del Biogás, 2011.
- [20] Cuantificación y caracterización de los residuos ganaderos de Gipuzkoa, Domingo Merino Merino, Diputación Foral de Gipuzkoa, Junio 2006.
- [21] Manual de compostaje del agricultor: experiencias en América Latina. FAO 2011.
- [22] Biogas in Africa. Environews Innovation. 2006.
- [23] Potencial energético de la zona rural del Departamento de La Libertad (Perú) producido por biogas obtenido de excretas humanas. Guillermo Alberto Linares-Lujan1, Carlos Echeverría-Perez, Tatiana Céspedes-Aguilar. 2017.