

SANEAMIENTO EN SITUACIONES DE EMERGENCIA

Elia Enrech Pérez

Trabajo de Fin de Grado | Aula 4 | 13/06/2017

Tutora: María del Mar Barbero Barrera

Universidad Politécnica de Madrid

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

ÍNDICE

01	INTRODUCCIÓN	7
02	HIPÓTESIS	10
03	OBJETIVOS	10
04	METODOLOGÍA	10
05	ESTADO DE LA CUESTIÓN	11
	5.1 Valoración inicial	11
	5.2 Normas mínimas de respuesta humanitaria	12
	5.3 Técnicas utilizadas	15
	5.4 Conclusión del estado de la cuestión	21
06	TÉCNICAS INNOVADORAS	22
07	CONCLUSIONES	41
	BIBLIOGRAFÍA	42
	BIBLIOGRAFÍA COMENTADA	45
	PROCEDENCIA DE LAS IMÁGENES	46

RESUMEN

El saneamiento es uno de los puntos clave de actuación en situaciones de emergencia. Muchas de las enfermedades que se dan en estos contextos pueden ser evitadas llevando a cabo una serie de medidas en cuanto a agua, saneamiento y promoción de la higiene que creen barreras entre la población y lo que las causa. El Proyecto Esfera establece las normas mínimas y los procedimientos que siguen las organizaciones de cooperación internacional al desarrollo.

Sin embargo, estas medidas no se han actualizado desde la publicación del proyecto, y es necesario tener en cuenta aspectos como la posible reutilización de los desechos humanos, que podrían suponer una gran mejora de los sistemas, cuyo fallo en muchas ocasiones viene del manejo de los excrementos, la parte con más riesgo de toda la cadena.

Este trabajo propone una serie de alternativas innovadoras que solventan este problema, con el objetivo de servir de manual a la hora de decidir qué método de saneamiento y manejo de la excreta emplear en cada contexto, según sus características particulares.

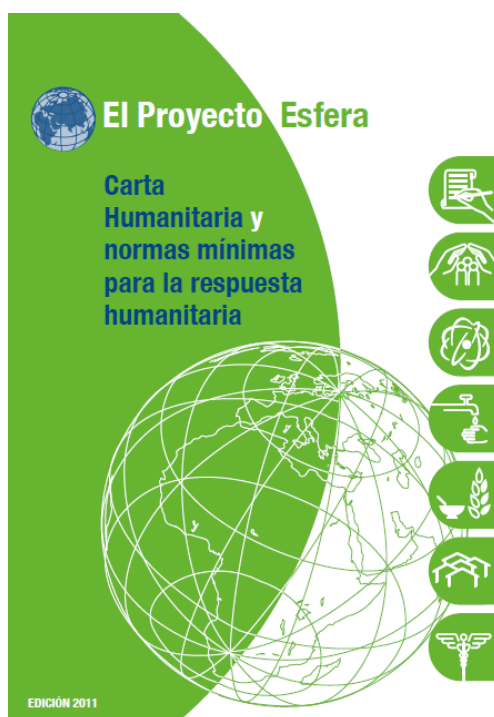
Palabras clave

Emergencia | Saneamiento | Innovación | Desastres naturales | Campos de refugiados

01 INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua, el saneamiento y la promoción de la higiene son unos de los puntos clave en todo tipo de actuaciones de emergencia de acuerdo con la carta humanitaria del Proyecto Esfera (proyecto de referencia en el ámbito de la actuación de emergencia), elaborada con el objetivo de desarrollar normas de asistencia humanitaria en 1997.

Fig.1. Portada del Proyecto Esfera

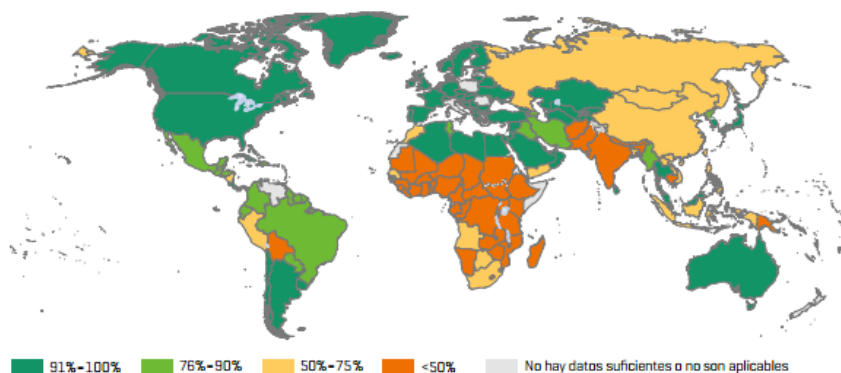


Del mismo modo, uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), y cuya meta era lograr reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios de saneamiento básicos entre 1990 y 2015. La meta relativa al acceso a agua potable se alcanzó en 2010, pero el objetivo sobre saneamiento no se cumplió, se perdió por casi 700 millones de personas.⁽¹⁾

El Equipo de Tareas sobre recursos hídricos y saneamiento del Proyecto del Milenio define el saneamiento básico como: «la opción de menos costo para garantizar un acceso sostenible a instalaciones y servicios para la eliminación de excrementos y aguas residuales que sean seguros, higiénicos y prácticos, y que proporcionen intimidad y dignidad a la vez que garantizan unas condiciones de vida limpias y saludables tanto en el hogar como en el vecindario de los usuarios».⁽²⁾

1 Organización Mundial de la Salud, *Progresos en materia de saneamiento y agua potable: Informe de actualización 2015 y evaluación del ODM*, Ginebra, 2015; 90p.

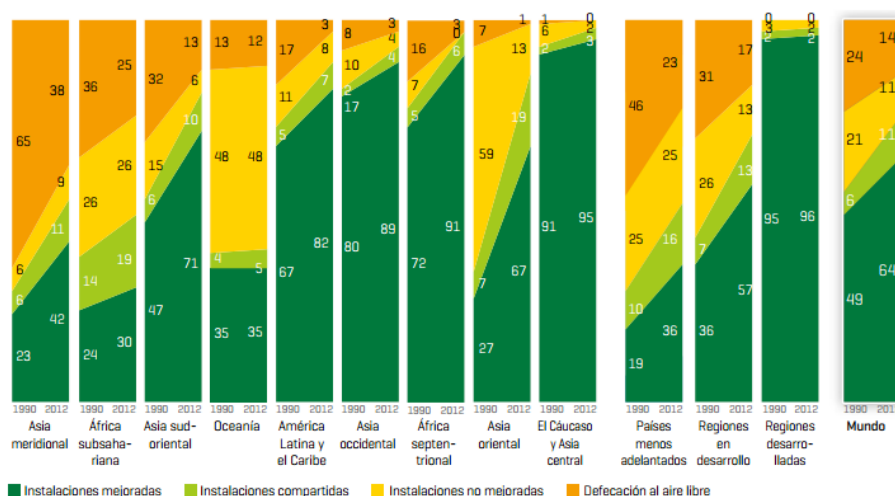
2 OMS, UNICEF, *La meta de los ODM relativa al agua potable y el saneamiento: el reto del decenio para zonas urbanas y rurales*, Ginebra, 2007; 48p.



◀ Fig.2. Proporción de población con acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas

Según recoge el documento “El agua como elemento clave para el desarrollo”, la OMS y UNICEF distinguen entre instalaciones mejoradas y no mejoradas según dos criterios: la separación higiénica de las heces del contacto humano y el uso privado y familiar de estas instalaciones. A partir de ello, en dicho documento se dividen en cuatro tipos:

- Defecación al aire libre. Ausencia de cualquier tipo de infraestructura de saneamiento.
- Saneamiento no mejorado. Las letrinas de fosa abierta, las letrinas de cubeta y las letrinas colgantes entran en esta clasificación al no garantizar la separación higiénica de las heces del contacto humano.
- Saneamiento compartido. Instalación de saneamiento mejorada compartida, como unos baños públicos.
- Saneamiento mejorado. Incluye la conexión a un alcantarillado público, a un tanque séptico, la letrina de sifón, la de fosa simple, la de fosa mejorada con ventilación y la letrina ecosan.⁽³⁾



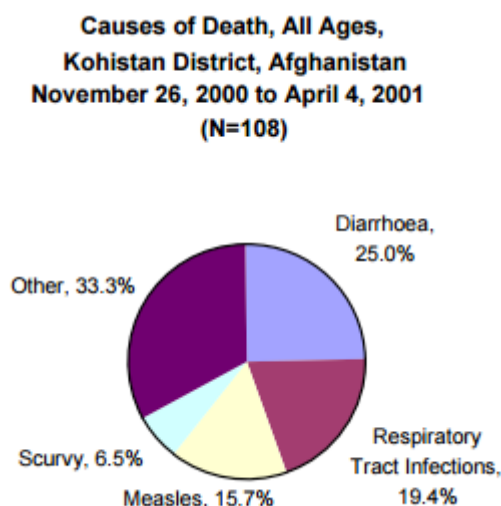
◀ Fig.3. Proporción de tipos de saneamiento por zonas

Tal y como puede observarse en este gráfico, la defecación al aire

3 PÉREZ FOGUET, Agustí; JIMÉNEZ, Alejandro, *El agua como elemento clave para el desarrollo*, 2011; pp136-137

libre todavía mayoritaria en los países de Asia meridional y, en menor medida, en los del África subsahariana. En general, un cuarto de la población de los países menos adelantados practica la defecación al aire libre, aunque se ha reducido considerablemente en los últimos años, mientras que se da en un 17% de la población de regiones en desarrollo, y no se encuentra en ninguna región desarrollada. De ello se desprende la importancia de los sistemas de saneamiento en el mundo donde aún sigue siendo algo reservado para una minoría, siendo, a pesar de ello, una de las fuentes de mayor importancia en los contagios y propagación de enfermedades.⁽⁴⁾

Fig.4. Causas de muerte más frecuentes



Las causas de muerte más comunes en situaciones de emergencia son enfermedades diarreicas, infecciones respiratorias agudas, sarampión, malaria y desnutrición. Todas ellas son evitables, y muchas de las medidas preventivas están relacionadas con un buen saneamiento y acceso a agua potable. Concretamente, las medidas relativas a saneamiento tienen un impacto en la propagación de enfermedades transmitidas por vectores, sarna y enfermedades diarreicas.⁽⁵⁾ El World Water Council define lo que constituye una emergencia como “donde y cuando un desastre provoca una amenaza inmediata, excepcional y generalizada a la vida, la salud o la subsistencia básica, que requiere una respuesta internacional inmediata que va más allá del mandato o la capacidad de una sola agencia y/o los programas actuales por país de Naciones Unidas”.

El acceso al agua y el saneamiento son críticos en estas situaciones para garantizar la supervivencia de los afectados en las primeras etapas de la emergencia.

4 Organización Mundial de la Salud, *Progresos en materia de saneamiento y agua potable: Informe de actualización 2015 y evaluación del ODM*, Ginebra, 2015; 90p.

5 ABDALLAH, S; BURNHAM, G, 'Chapter 8 Water Sanitation and Hygiene in Emergencies'. En ABDALLAH, S; BURNHAM, G, *Public Health Guide for Emergencies*, The Johns Hopkins and the International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Boston, 2001; p4.

Las distintas organizaciones que actúan en estos casos siguen una serie de pasos de cara a implementar este saneamiento básico lo más rápido posible, definidos por la Carta Humanitaria, que no han evolucionado en los últimos años, desde que se publicó el Proyecto Esfera en 1997.

02 HIPÓTESIS

En este contexto, se plantea la hipótesis de que se pueden implementar tecnologías más innovadoras y avanzadas en saneamiento, en situaciones de emergencia, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos en cada circunstancia.

03 OBJETIVOS

Esta investigación tiene como objetivo principal el análisis de las tecnologías existentes en materia de saneamiento que existen en el mercado, bien en forma de elementos comerciales o de investigaciones, de cara a analizar su posible aplicación al contexto de emergencia..

Como objetivo específico se desarrollará un análisis de las estrategias y soluciones comunes en el contexto de emergencia.

04 METODOLOGÍA

La recopilación de información necesaria para la primera parte del trabajo se basa en documentos fundamentales como la Carta Humanitaria del Proyecto Esfera, que expone las normas a seguir en la respuesta humanitaria respecto al derecho al agua y al saneamiento, así como diversos documentos publicados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que recogen información sobre la situación general del acceso al saneamiento, sobre aspectos prioritarios a tener en cuenta durante las actuaciones y sobre estrategias a seguir y sistemas que se pueden utilizar. También se analizará el “Manual de Requerimientos Mínimos para Intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias” editado por la AECID (Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo). Es de gran ayuda igualmente el libro “Hacia una manualística universal de habitabilidad básica”, que recoge diversos tipos de sistema de saneamiento.

Una vez conocida y analizada la situación actual en términos de saneamiento, en una segunda fase, se realiza una investigación

sobre los sistemas tecnológicos en saneamiento en el que se analizan los condicionantes a tener en cuenta. En esta fase, se lleva a cabo un análisis crítico y comparativo de éstos.

Finalmente, se extraen unas conclusiones sobre la viabilidad del empleo de los sistemas tecnológicos de saneamiento.

05 ESTADO DE LA CUESTIÓN

5.1 Valoración inicial

La inmediatez en el uso de sistemas de evacuación de excretas provoca que, cuando un organismo especializado se desplace a un lugar afectado por un desastre, la primera actuación de realizar sea un rápido análisis de la situación existente y de los medios disponibles que permitan, en caso de ser necesario, llevar a cabo mejoras sobre el mismo. No obstante, antes de tomar ningún tipo de decisión o de enviar equipos y material de ayuda, dado el coste que ello implica, es absolutamente necesario conocer cuáles son las necesidades de la población. Por lo tanto, en la fase inicial, que durará un máximo de 4-5 días, la recopilación de información en el menor tiempo posible, teniendo en cuenta las normas mínimas de respuesta humanitaria que establece el Proyecto Esfera, es básica para establecer la metodología y el protocolo de actuación específico de cada caso. En este sentido, la metodología seguida en estos casos suele ser:

- Durante las primeras 48 horas se recoge información desde sede (por teléfono, a través de medios de comunicación y contacto con contrapartes)
- El segundo día se llevan a cabo preparaciones logísticas y se definen los TdR (Términos de Referencia: el objetivo, los resultados esperados, etc).
- El 3º y 4º día se realiza la valoración rápida en el terreno, retroalimentándose desde la sede, y se preparan las primeras intervenciones.

A este efecto, existen una serie de listas de reconocimiento (llamadas checklist), propias de cada organismo, con el objetivo con conseguir esta información, ya sea a través de fuentes directas (observaciones en terreno, entrevistas, etc.) o indirectas (documentos preexistentes, planes de contingencia, informes, etc.).⁽⁶⁾

⁶ LÓPEZ DELGADO, Leire; SCHIFFER, Andreas. *Manual de Requerimientos Mínimos para Intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias*. AECID, 2012.

De las listas existentes, la de mayor aplicación es la del Proyecto Esfera, que recoge datos en 7 categorías: generalidades, promoción de la higiene, abastecimiento de agua, evacuación de excrementos, enfermedades transmitidas por vectores, gestión de desechos sólidos y drenaje.

Algunos ejemplos de preguntas a realizar relativas al saneamiento son:

- Evacuación de excrementos
 - ¿Cuál es la práctica corriente de defecación?
 - ¿Existe algún tipo de instalaciones a tal efecto? ¿Son utilizadas, funcionan bien?
 - ¿A qué profundidad se halla la capa freática?
 - ¿De qué materiales para construir letrinas se dispone localmente?
 - ¿Hay suficiente espacio para terrenos de defecación, letrinas de pozo, retretes, etc.?
 - ¿Cuál es el nivel de la capa freática?
- Gestión de desechos sólidos
 - ¿De qué manera las personas eliminan sus desechos?
 - ¿Qué tipo y qué cantidad de desechos sólidos se producen?
 - ¿Es posible eliminar los desechos in situ?
 - ¿Cuál es la práctica normal de la población afectada en cuanto a este tema?
 - ¿Qué efecto tiene en el medioambiente el sistema actual?⁽⁷⁾

5.2 Normas mínimas de respuesta humanitaria

Tras esta valoración rápida, la organización ha de decidir cómo actuar. A este respecto, la Carta Humanitaria del Proyecto Esfera establece una serie de normas mínimas sobre todos los aspectos a tener en cuenta en estos casos, uno de ellos siendo el abaste-

190p.

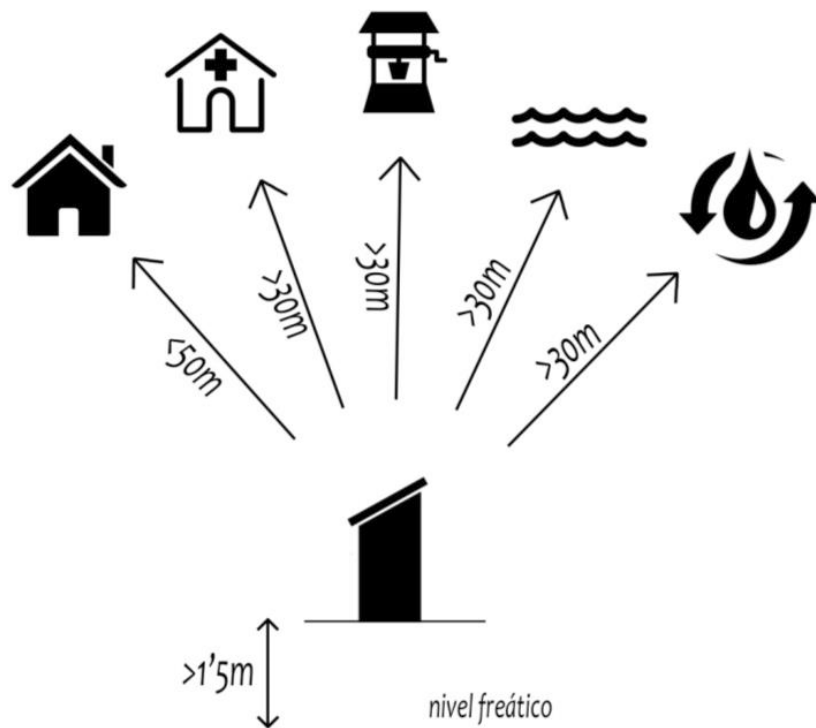
7 Proyecto Esfera. *Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria*, Bourton on Dunsmore, Reino Unido: Practical Action Publishing, 2011; 450p. ; traducción de María Eliana Inostrosa.

cimiento de agua, el saneamiento y la promoción de la higiene, vitales en la prevención de enfermedades. Se determinan una serie de acciones e indicadores clave, juntamente con una notes de orientación, a seguir, relativas a cada uno de estos puntos.

Una de las mayores prioridades es la evacuación segura de excrementos, y constituye el cuarto punto de las normas mínimas. Dentro de este se recogen una serie de normas, cuyo objetivo se resume a continuación:

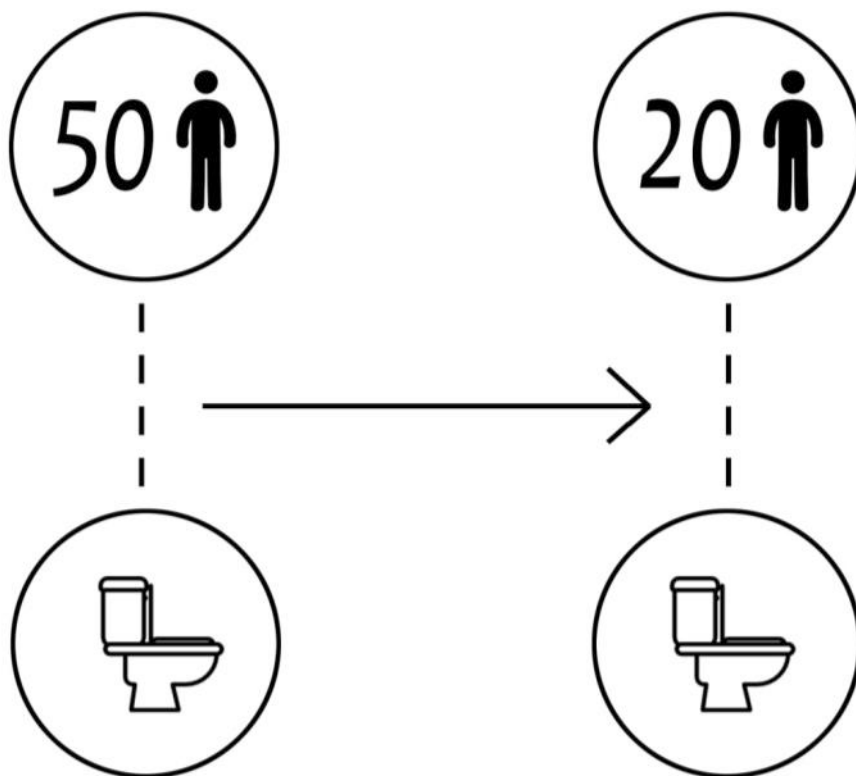
- Contención de las heces humanas. Se ha de asegurar un ambiente en el que no existan las enfermedades relacionadas con los excrementos. Las acciones clave a llevar a cabo a este respecto son la implementación de las medidas apropiadas para contener los excrementos, la consulta con la población sobre las prácticas comunes en esta materia y la concertación de campañas de promoción de la higiene enfocadas a la evacuación segura de excrementos. En esta norma se establecen unos indicadores clave y notas de orientación con el proceso a seguir y respetar en función de las características específicas de la ubicación del desastre. En general, se delimitan las zonas de defecación y su distanciamientos de las fuentes de agua (letrinas y pozos de infiltración deben estar al menos a 30 metros de las fuentes de agua subterráneas, el fondo de los pozos a 1'5 metros por encima de la capa freática, como mínimo), etc., que quedan esquematizados en la Figura 5.

Fig.5. Esquema de las distancias a respetar referentes a saneamiento (elaboración propia a partir de datos del Proyecto Esfera)



- Evacuación de excrementos: establece los retretes adecuados a cada caso, su ubicación y el diseño de las instalaciones sa-

nitarias. En esta norma se establecen los criterios para el suministro de los materiales necesarios para su limpieza y mantenimiento. Se establecen una serie de condiciones a cumplir: que sean accesibles por todos los sectores de la población, independientemente de su edad o género, que permita un grado de intimidad compatible con las costumbres de los usuarios, que haya uno por cada 20 personas (si no es posible, empezar con uno por cada 50 personas y aumentar el número de retretes lo antes posible hasta llegar a 20), que no se encuentren a más de 50 metros de las viviendas, etc. En las notas de orientación se plantean diversas soluciones para la evacuación segura de excrementos, clasificadas en función de la fase de emergencia y del contexto: zona delimitada de defecación, letrinas de zanja, letrinas de pozo simple, letrinas de pozo mejoradas con ventilación, letrinas de saneamiento ecológico con desviación de orina y fosos sépticos. Se hace hincapié además en la importancia del acceso a unas instalaciones seguras a mujeres y niñas, más expuestas a agresiones, además de los artículos necesarios para la absorción y eliminación del menstruo, en función de lo culturalmente apropiado en cada caso.



◀ Fig.6. Esquema de la proporción recomendada de personas por retrete (elaboración propia a partir de datos del Proyecto Esfera)

- Gestión de los desechos sólidos, su manejo y eliminación. Se incide en la importancia de hacer participar a la población afectada en los programas de eliminación de desechos sólidos, ya que debe de planificarse en consulta con ellos y con las autoridades pertinentes. Es una actividad que debe realizarse desde el inicio de la respuesta a la emergencia, ya que puede

convertirse rápidamente en un riesgo grave para la salud de la población afectada. Este apartado no sólo tiene que ver con el saneamiento, sino también con la eliminación de basura, desechos médicos y la gestión de cadáveres, pero no es un tema que trataremos.⁽⁸⁾

En cuanto a la aplicación de estas normas mínimas, existen dos corrientes diferentes al respecto del diseño y la implementación de la ayuda humanitaria. La primera asegura que los estándares acordados entre las distintas agencias pueden servir de base a la hora de decidir cómo proveer la ayuda humanitaria, mientras que la segunda sostiene que su calidad depende más del contexto específico de cada situación y de cada localización, así como de la población afectada y sus costumbres.⁽⁹⁾

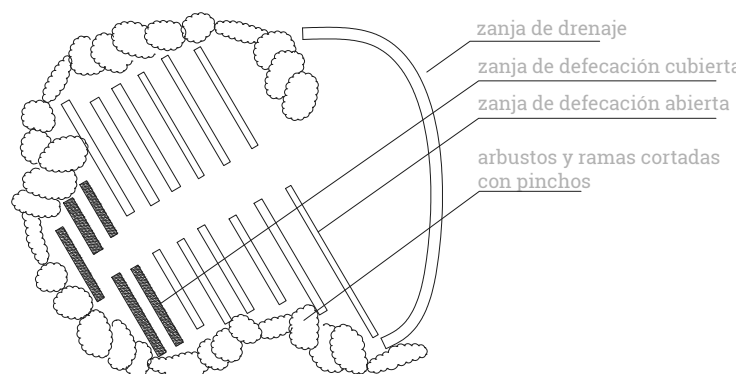
5.3 Técnicas utilizadas

Los métodos empleados en la actualidad se pueden dividir en dos categorías: aquellos utilizados en la primera fase de la emergencia, y los que se pueden implementar en la fase de estabilización.

Primera fase:

- Campos de defecación. Es una solución extrema y pensada solamente para esta fase, ya que conlleva gran peligro de infecciones y precisa de mucho espacio y de intenso mantenimiento. Además, no suele tener mucha aceptación por parte de la población. Es recomendable evitarlo si es posible e instalar alguna de las otras medidas, como las letrinas trincheras.⁽¹⁰⁾

Fig.7. Campos de defecación (elaboración propia a partir del Manual de Requerimientos Mínimos para intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias)

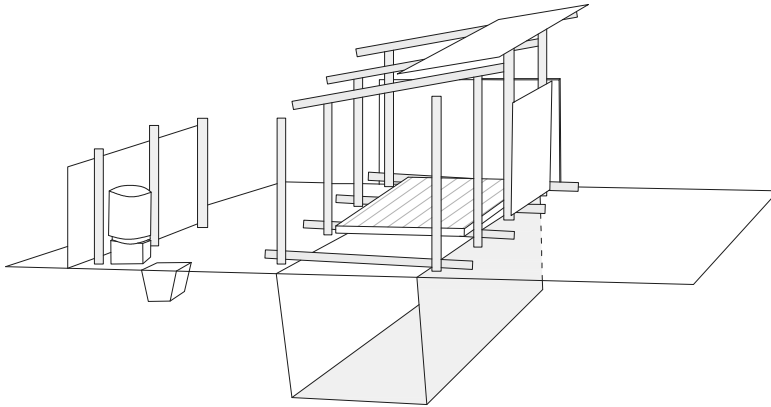


8 Proyecto Esfera, 2011.

9 GARRIDO, Miguel Martín-Loeches; REBOLLO, Luis F. *Agua y saneamiento ambiental en proyectos de emergencia y de cooperación al desarrollo*. Universidad de Alcalá, 2008; 310p.

10 LÓPEZ DELGADO; SCHIFFER, 2012. 190p.

- Letrinas trincheras. Se colocan una serie de cubículos en batería sobre una zanja, y se puede tener hasta 6 cubículos por batería (suficientes para 120 personas manteniendo el ratio de un retrate por cada 20 usuarios). Es un método rápido y de fácil construcción, pero que no proporciona una solución a la generación de malos olores, además de no ser adecuado para suelos inestables, rocosos o con un nivel freático muy próximo a la superficie. Se puede construir en un día, y es el método más recomendable en esta fase de la emergencia.⁽¹¹⁾



◀ Fig.8. Letrinas trincheras (elaboración propia a partir del Manual de Requerimientos Mínimos para intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias)

- Baños químicos portátiles. Consisten en contenedores de plástico prefabricados con un tanque hermético para el almacenamiento de los desechos. Tienen la ventaja de proporcionar una solución química que reduce los olores y su montaje es muy rápido, además de ser higiénicos, pero son muy costosos y su contenido debe ser tratado en instalaciones especiales según el químico que usen.⁽¹²⁾



◀ Fig.9. Baño químico portátil (elaboración propia a partir del Manual de Requerimientos Mínimos para intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias)

Fase de estabilización:

- Letrina tradicional simple. Se compone de una losa situada sobre un pozo. No precisa de agua para funcionar, pero su mayor desventaja es la falta de tratamiento de malos olores, ya que, al descomponerse el material orgánico, se producen gases que escapan a la atmósfera.⁽¹³⁾

11 LÓPEZ DELGADO; SCHIFFER, 2012. 190p.

12 LÓPEZ DELGADO; SCHIFFER, 2012. 190p.

13 COLAVIDAS, F.; OTEIZA, I.; SALAS, J. *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*, Madrid: Maireta, 2006; 292p.

- Letrina de agua. En este tipo de letrina se necesita agua para enjuagar y transportar los desechos hasta una fosa de absorción, por lo que es poco recomendable en emergencias, ya que el agua suele ser un bien escaso. No teniendo agua disponible la letrina se convertiría en un foco de enfermedades.⁽¹⁴⁾

Fig.10. Letrina tradicional (izquierda) (elaboración propia a partir de *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*)

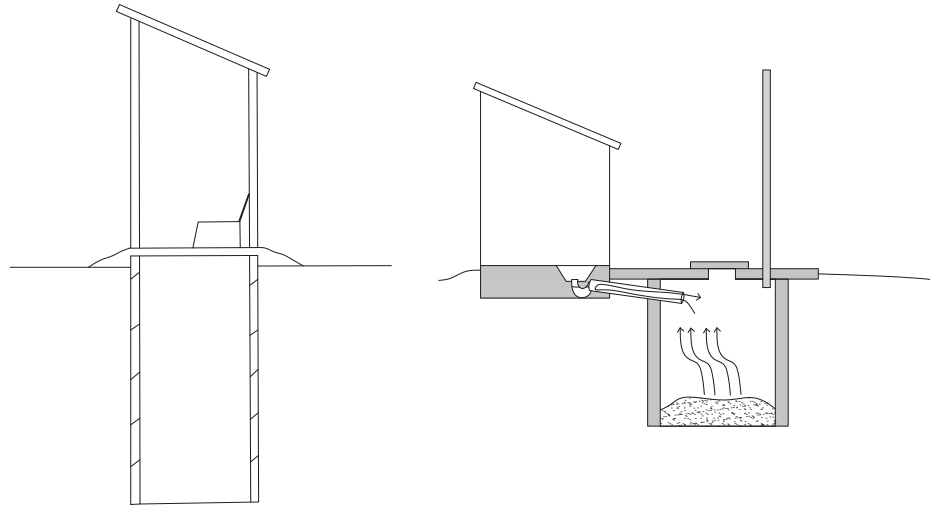
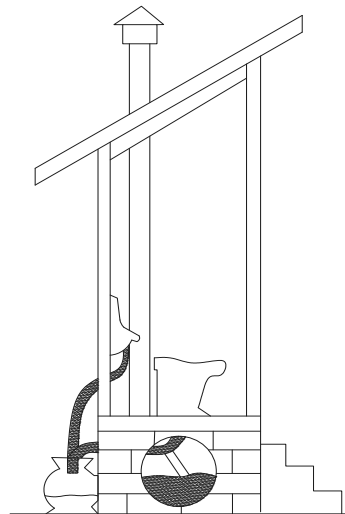


Fig.11. Letrina de agua (derecha) (elaboración propia a partir de *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*)

- Letrina abonera. Es una taza separativa con dos cámaras recipientes cuya función es almacenar y descomponer los desechos de manera alterna. Se puede utilizar en cualquier tipo de clima o suelo.⁽¹⁵⁾

Fig.12. Letrina abonera (elaboración propia a partir de *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*)



- Letrina de cierre hidráulico. Tiene una trampa de agua que proporciona el cierre hidráulico necesario para evitar el paso de olores o insectos al interior de la caseta. Una vez se llena el pozo es necesario excavar otro y dejar el primero reposando para permitir la descomposición durante el menos seis meses, lo cual es poco recomendable en situaciones donde la proporción de usuarios por letrina sea elevado y el terreno disponible

14 LÓPEZ DELGADO; SCHIFFER, 2012. 190p.

15 COLAVIDAS; OTEIZA; SALAS, 2006; 292p.

sea escaso.⁽¹⁶⁾

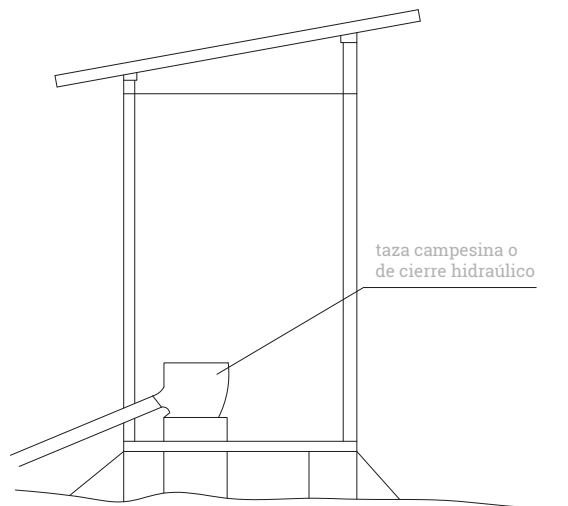


Fig.13. Letrina de cierre hidráulico (elaboración propia a partir de *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*)

- Letrina de pozo anegable. Este tipo de letrina se instala sobre un depósito de agua que ha de mantenerse lleno, cuyo contenido debe dirigirse a un pozo de infiltración, una zanja de desagüe o una cloaca. Puede aplicarse en cualquier clima y suelo, pero necesita un mantenimiento constante ya que hay que asegurarse que el tanque está siempre lleno de agua para mantener el sello hidráulico.⁽¹⁷⁾

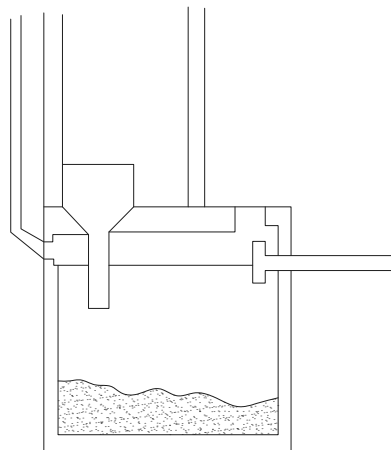


Fig.14. Letrina de pozo anegable (elaboración propia a partir de *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*)

- Letrina VIP (Ventilated Improved Pit). Las letrinas de pozo mejorado y ventiladas atajan los dos principales problemas de las tradicionales: los olores y las moscas, gracias a una tubería de ventilación cubierta con una rejilla anti insectos. Requiere una limpieza regular y el mantenimiento del área de alrededor de la letrina libre de vegetación, y no tiene restricciones por clima o por tipo de suelo.⁽¹⁸⁾
- Letrina ecosan. La letrina ecológica se compone de una taza con separación de orina y heces y una o dos cámaras en las que se almacena la excreta para su mineralización. La orina, tras almacenarse durante un tiempo, se puede reutilizar como

16 COLAVIDAS; OTEIZA; SALAS, 2006; 292p.

17 COLAVIDAS; OTEIZA; SALAS, 2006; 292p.

18 COLAVIDAS; OTEIZA; SALAS, 2006; 292p.

fertilizante, mientras que las heces pueden convertirse en compost. Es adecuada para terrenos inundables y no excavables, ya que se construye sobre el terreno.⁽¹⁹⁾

Fig.15. Letrina VIP (izquierda) (elaboración propia a partir de *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*)

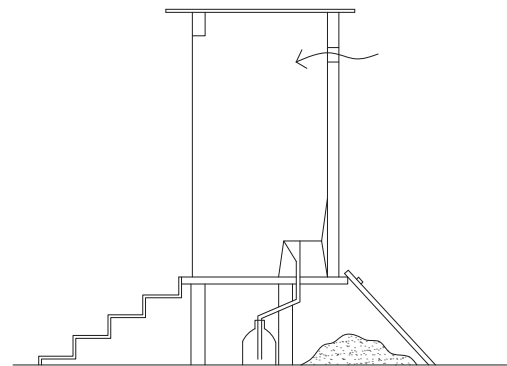
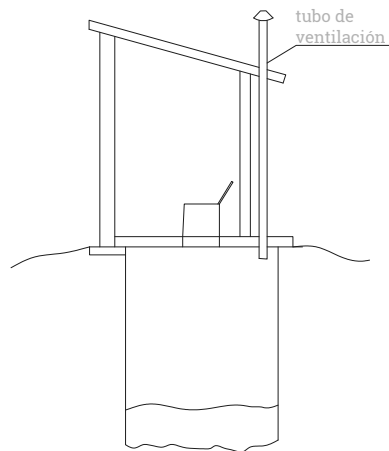


Fig.16. Letrina ecosan (derecha) (elaboración propia a partir de <http://iffi.org.uk/projects/lifeisland/documents/lifeisland.htm>)

- Letrina de pozo elevado. Es adecuada en casos en los que las condiciones del terreno sean difíciles y el nivel freático se encuentre cerca de la superficie. Se puede aplicar a los demás tipos de letrina, y no requiere demasiado mantenimiento de por sí, simplemente se ha de impermeabilizar el terraplén de tierra alrededor de la parte elevada para evitar filtraciones. Sin embargo, plantea diversos problemas, como el manejo de los residuos.⁽²⁰⁾

Fig.17. Letrina de foso elevado (izquierda) (elaboración propia a partir de *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*)

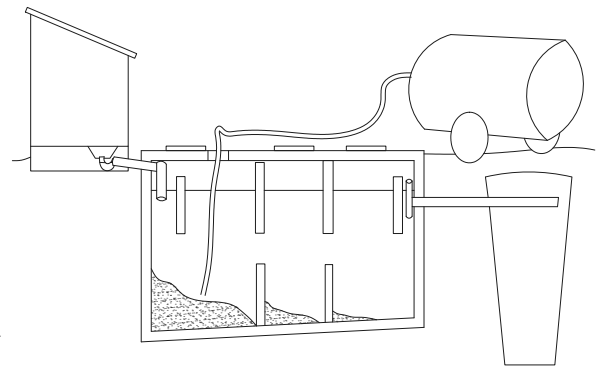
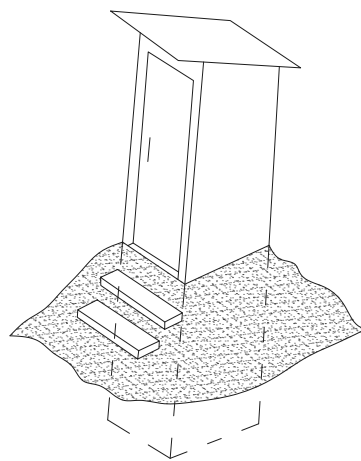


Fig.18. Fosa séptica (derecha) (elaboración propia a partir del Manual de Requerimientos Mínimos para intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias)

- Fosa séptica. Es una alternativa cuando no hay alcantarillado o el agua residual es demasiada para poder infiltrarla en el subsuelo. Durante un proceso que dura tres días se compactan los desechos y se convierten en metano, lodo y líquido efluente, que al salir de la losa se oxida, acabando de eliminar los patógenos. Tarda varias semanas en realizarse.⁽²¹⁾

19 GOYCOOLEA, REBOLLO, 2016, 27

20 COLAVIDAS; OTEIZA; SALAS, 2006; 292p.

21 LÓPEZ DELGADO; SCHIFFER, 2012. 190p.

Además de las desventajas ya mencionadas, existen otras que se ponen de manifiesto, por ejemplo, en la actuación en el campo de Zaatari, en el norte de Jordania, que acoge a cerca de 80 000 refugiados sirios. En este campo se implantaron cuatro bloques WASH (Water, Sanitation and Hygiene) que daban acceso a duchas, retretes, agua para lavarse, para la colada, con tanques sépticos que se vaciaban frecuentemente. Cada uno tuvo un coste de 1 500 000 \$, y sin embargo nadie los usa. La gente prefiere construir un pequeño retrete en su recinto, o incluso de su tienda, con partes extraídas del bloque principal, ya que es la cultura Sunni está muy mal visto que alguien de la familia tenga que usar un baño público, compartido. Las agencias son conscientes de que sería preferible utilizar, si no letrinas individuales, al menos bloques para grupos más reducidos, o por familias.⁽²²⁾



◀ Fig.19. Campo de refugiados de Zaatari

1. General Feed Back



◀ Fig.20. Comentarios positivos y negativos sobre la reestructuración del campo.

22 Entrevista realizada por la autora a Richard Bauer, Norwegian Refugee Council, el 18 de abril de 2017.

Otro problema recurrente es el de la eliminación de desechos. Por ejemplo, en Freetown, en Sierra Leona, durante los últimos diez años, el número de personas con acceso a saneamiento se ha incrementado casi un 35%, pasando del 50% al 83%. Esto se puede considerar un éxito, pero, si se analiza lo que pasa con los desechos generados después se pueden encontrar fugas, vertidos de desechos en sitios no acondicionados para ellos, etc., menos de un 10% de los desechos se eliminan de manera segura, el resto va al suministro de agua de una manera u otra. ⁽²³⁾

Por lo tanto, no hay que centrarse solamente en la parte del saneamiento que concierne al usuario, sino que hay que fijarse y tener en cuenta el otro extremo: ¿qué pasa con los desechos? Además de tratar su contención, es importante pensar en cómo se elimina, o si es posible su reutilización, que es en lo que se centra la siguiente parte del trabajo.

5.4 Conclusión del estado de la cuestión

A la hora de decidir cómo actuar en las distintas etapas de una emergencia, se siguen los planteamientos del Proyecto Esfera, cuyo protocolo es muy claro. En concreto, se trata de cubrir los aspectos necesarios de las necesidades más básicas de la población, siendo uno de estos el saneamiento. El interés del saneamiento radica, en primer lugar, en la creación de una barrera entre las bacterias presentes en los desechos y el agua y la gente, para prevenir la propagación de enfermedades. En segundo lugar, igualmente importante, está la dignidad: conseguir que la gente se sienta segura y quiera utilizar la solución que se haya planteado. Es en este aspecto en el que se suele fallar, ya que no se tiene tanto en cuenta ni se trata como una prioridad.

Como ya se ha expuesto anteriormente, es muy necesario un enfoque dirigido a la innovación en temas de reutilización de residuos debido a la aplicación de técnicas obsoletas y poco adecuadas a la tecnología disponible en la actualidad. Las técnicas actuales plantean riesgos a la hora de realizar el manejo la excreta, algunas necesitan agua (que suele ser un recurso escaso en estas situaciones) y, salvo casos concretos, no se plantea una reutilización de los desechos.

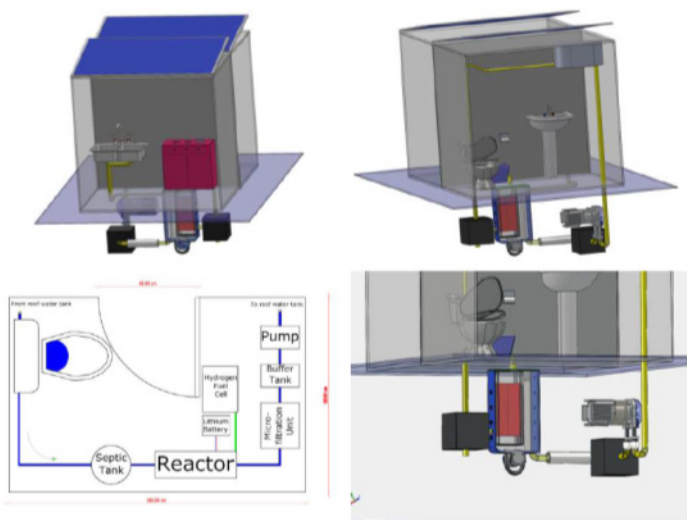
06 TÉCNICAS INNOVADORAS

23 Entrevista realizada por la autora a Richard Bauer, Norwegian Refugee Council, el 18 de abril de 2017.

A continuación, se recogen y analizan las técnicas existentes en materia de saneamiento para evaluar su adecuación en situaciones de emergencia.

1. El retrete solar de Caltech

Un equipo de la universidad de Caltech desarrolló un retrete que usa la energía solar para alimentar un reactor electroquímico. El reactor descompone el agua y los residuos y los convierte en fertilizante y en hidrógeno, que se puede acumular en células de combustible de hidrógeno como fuente de energía. Además, el agua tratada se puede reutilizar para limpiar los inodoros o para el riego.



◀ Fig.21. Plano y modelo 3d del retrete solar de Caltech

El prototipo ya ha sido probado en universidades y parques públicos de India y China.



◀ Fig.22. Prototipo del retrete solar del Caltech construido en India

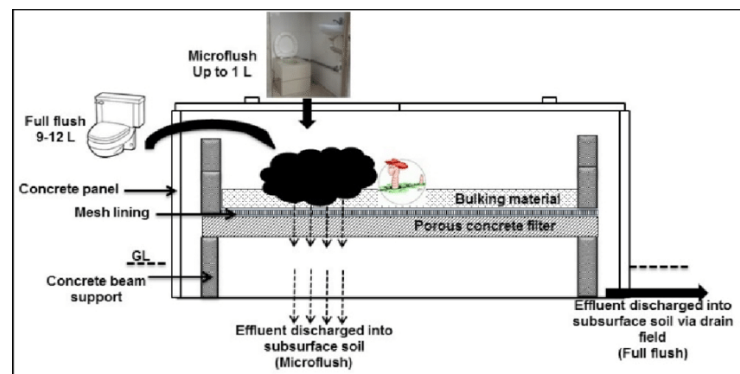
Los posibles inconvenientes de la utilización de dicho sistema se-

rían la falta de material y conocimientos necesarios para su construcción, por lo que para poder aplicarse desde la primera fase sería necesario contar con profesionales experimentados. Sin embargo, las ventajas podrían compensar la dificultad de la realización, ya que este retrete no necesita ningún tipo de infraestructura o red de saneamiento, y proporciona una alternativa al enterramiento de desechos sólidos, que conlleva numerosos riesgos para la salud de la población afectada. Además, el dispositivo dota de completa privacidad a los usuarios, uno de los puntos recomendados en las normas mínimas de la Carta Humanitaria del Proyecto Esfera y un factor de gran importancia a la hora de conseguir que un sistema sea utilizado o no por los afectados.⁽²⁴⁾

2. Tecnología Biofil

La tecnología Biofil (BTT, Biofil Toilet Technology) es una iniciativa de un emprendedor local, Kweku Akuama Anno, en Accra, Ghana. Imita la descomposición presente en la naturaleza mediante la separación de sólidos y líquidos. Consiste en un filtro compuesto de tierra y hormigón permeable, en el que bacterias y otros organismos degradan la materia fecal sólida. Los líquidos se filtran al fondo del digestor y se drenan al suelo, donde se produce la descomposición final. El resto de sólidos (como el papel higiénico y otros materiales de higiene degradables) se descomponen y se convierten en tierra fértil).

Fig.23. Esquema de funcionamiento del retrete con tecnología Biofil



El digestor Biofill se puede usar como inodoro de descarga, lo que produce agua rica en nutrientes, biológicamente tratada, que se puede usar para regadío. El diseño es simple y asequible, no requiere mucho mantenimiento y es adecuado para todo tipo de suelos, incluidos aquellos con alto nivel freático. Se puede colocar en superficie o enterrado, dependiendo de la ubicación del agua subterránea.

24 HOFFMAN, M., CID, C. *Development of a self-contained, PV-powered domestic toilet and wastewater treatment system*. Pasadena: California Institute of Technology, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1831> (9/04/2017)

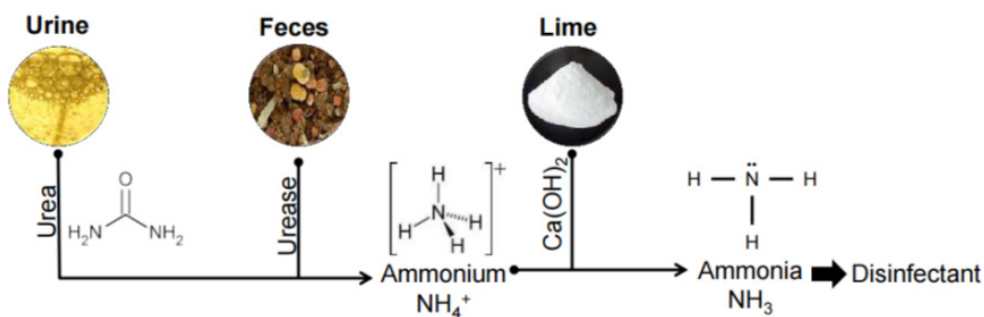
Es especialmente adecuado en situaciones en las que no es posible llevar a cabo un sistema de alcantarillado.⁽²⁵⁾



◀ Fig.24. Retrete con tecnología Biofil construido en Ghana

3. Safe sludge (lodo seguro)

El grupo de investigación de la profesora Kara Nelson, de la Universidad de Berkeley, en California, desarrolló Safe Sludge, un proceso de desinfección de letrinas mediante el amoníaco naturalmente presente en la orina y en las heces, convirtiéndolo en un eficaz desinfectante al añadir un aditivo alcalino que incrementa su nivel de acidez. Al deshacerse de todos los patógenos, el manejo de los desechos se vuelve mucho más seguro.



◀ Fig.25. Proceso de desinfección mediante orina

El retrete, al aplicar el proceso, funciona de esta manera: primero se almacenan la orina y las heces (sin separación de líquidos y sólidos), que producen amoníaco después de, al menos, cuatro horas de contacto, durante las cuales la enzima ureasa, presente en las heces, convierte la urea en amoníaco. En una segunda fase se usa una solución de CaOH₂ (hidróxido de calcio), lo que eleva el pH de

25 OWUSU-ANTWI, Peter: *Occurrence of on-site sanitation technologies in poor urban communities: A case of the Biofil Toilet Technology*. UNESCO-IHE - Institute for Water Education (presentación para la conferencia FSM3 en Hanoi), 2015. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1831> (9/04/2017)

los residuos a 12 (ya que la enzima ureasa no es activa por encima del pH9) convirtiendo el amoníaco en desinfectante. Además, los desechos producidos se pueden convertir en fertilizante o en combustible.

Fig.26. Ensayos de campo de Sanergy del plantamiento Safe Sludge

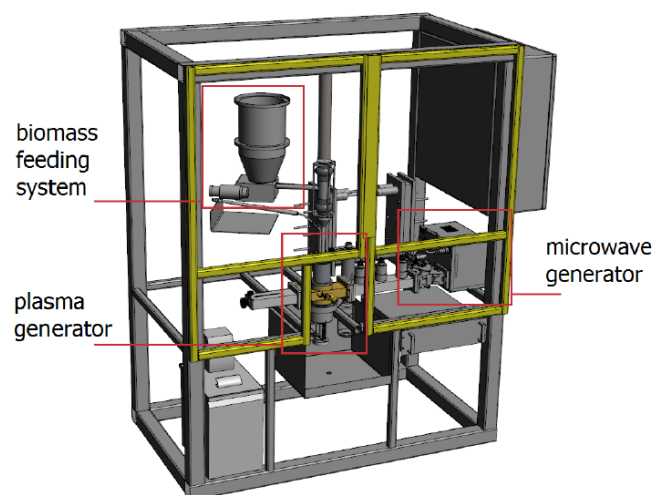


La principal ventaja de este sistema es que no necesita agua ni electricidad, lo que lo hace particularmente apropiado para situaciones de emergencia en las que el acceso a estos dos recursos es limitado. La desventaja es que no hay reutilización de desechos.⁽²⁶⁾

4. Gasificación por plasma de microondas

Este proyecto de Paul Janssen, de la T. U. Delft, propone generar electricidad a partir de las heces mediante su gasificación por plasma de microondas.

Fig.27. Diseño del generador



Primero se secan y pulverizan los desechos, para después exponerse a plasma, que lo convierte en syngas (gas sintetizado, hidró-

26 NELSON, K.; *Safe sludge: The disinfection of latrine faecal sludge with ammonia naturally present in excreta*. University of California at Berkeley, 2013; <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1806> (9/04/2017)

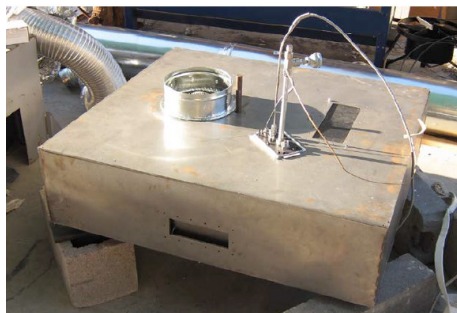
geno y monóxido de carbono), el cual se limpia y se puede entonces usar para alimentar una pila de combustible de óxido sólido. Esta energía se puede usar a su vez para la gasificación por plasma.

Está pensado para aplicarse en un "slum" en la India, pero todavía no se ha llevado a cabo.

Sería una manera eficiente de deshacerse de los desechos a la vez que se genera energía, que puede usarse para otros servicios y resultar muy necesaria en situaciones de emergencia. Además, este sistema elimina inmediatamente los patógenos, y el proceso es bastante rápido. Son necesarios los desechos de al menos 2000 personas al día, se podría aplicar en campos de gran escala.⁽²⁷⁾

5. Pirólisis

Desarrollado por un equipo de la Universidad de Stanford y The Climate Foundation, este proyecto consiste en un sistema que puede convertir mediante pirólisis (descomposición del material orgánico a altas temperaturas sin oxígeno) en un tipo de carbón biológico (biochar). Se está desarrollando en Nairobi junto con Senergy, una empresa keniana enfocada en el saneamiento sostenible.



◀ Fig.28. Salida de gas y entrada de residuos sólidos del pirolizador

El costo de cada unidad es inferior a 200\$.



◀ Fig.29. Cubo de carbón resultante del reactor

Las ventajas de este carbón son las siguientes: reduce el uso de

27 JANSSEN, P, DIEHL, J. C. *Upgrade human waste to fuel gas with plasma-driven gasification*. Technical University of Delft, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1787> (9/04/2017)

fertilizantes, de agua, multiplica la productividad y mantiene los nutrientes cerca de las raíces de las plantas durante más tiempo.⁽²⁸⁾

Fig.30. Prototipo en funcionamiento en Delhi



6. Blue Diversion Autarky, el inodoro autónomo

El Instituto Federal Suizo de las Ciencias Acuáticas y la Tecnología (EAWAG) está desarrollando un método de tratamiento de orina y heces, por separado.

Fig.31. Flujo de materiales

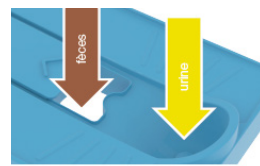
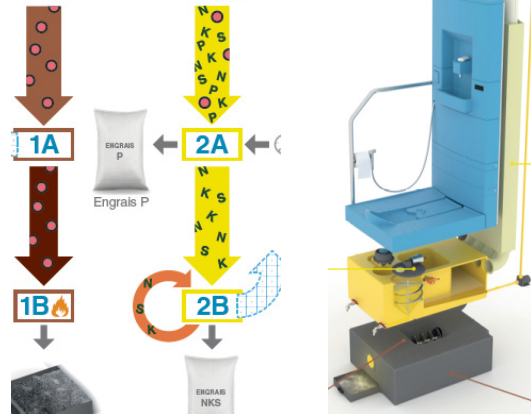


Fig.32. Modelo 3d del retrete



El tratamiento de orina consiste en una primera fase en la cual se añade hidróxido de calcio para aumentar el pH, estabilizar el contenido de nitrógeno, precipitar el fósforo e inactivar los patógenos.

Después, se elimina el agua mediante técnicas de evaporación pasiva que no requieren energía. De este proceso se obtienen dos sólidos: uno que contiene el fósforo y otro con los nutrientes y sales.

28 HERZEN, B., TALSMA, L. *Conversion of human waste into biochar using pyrolysis at a community-scale facility in Kenya*. Stanford U. and The Climate Foundation, Stanford, 2014. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1832> (9/04/2017)

Las heces se tratan mediante oxidación hidrotérmica, de lo cual se obtiene por un lado agua y por otro los sólidos precipitados, que contienen el fósforo.

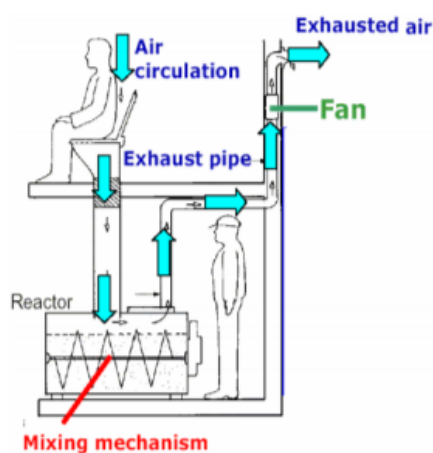


◀ Fig.33. Modelo de Blue Diversion en Mukuru, Nairobi

Finalmente, para tratar el agua se usa la tecnología de membrana conducida por gravedad (GDM).⁽²⁹⁾

7. *Retrete de compostaje automático en el Zoo de Asahiya-* *ma*

En el zoo de Asahikawa, en Japón, se implantaron unos retretes que, mediante un reactor que mezcla los desechos con serrín y los ventila a ciertos intervalos, convierten la excreta en compost rico en N, P y K. Para asegurar una temperatura óptima para el compostaje, el reactor se calienta con energía eléctrica. Los desechos biodegradables se pueden tratar igualmente en el sistema.



◀ Fig.34. Esquema de funcionamiento del retrete

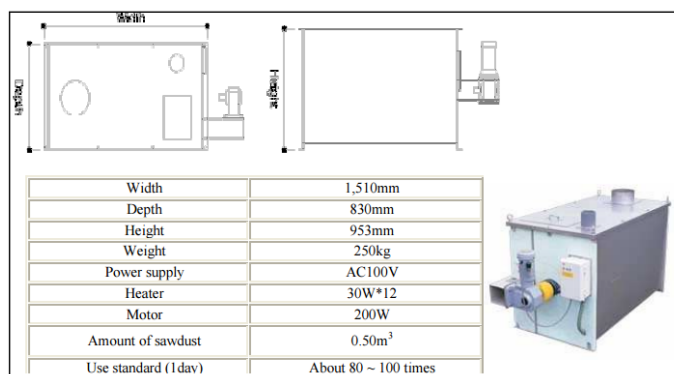
No requiere alcantarillado y previene la aparición de malos olores, pero no es recomendable su uso en zonas con una gran humedad

29 VV.AA. *Blue Diversion Autarky, a self-sustaining grid free toilet*, Eawag (Swiss Federal Institute for Aquatic Science and Technology); Switzerland, 2015. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/2237> (17/04/2017)

o en terrenos accidentados.

No necesita demasiado mantenimiento, el serrín se reemplaza una vez al mes (o algo más a menudo en temporadas de alto uso), y las partes de retreta que funcionan automáticamente se pueden monitorizar mediante un sistema de control, por lo que no necesitan que se les preste mucha atención.

Fig.35. Datos y foto de un reactor S50



Este modelo en concreto se diseñó para usarse entre 80 y 100 veces al día, lo que permitiría cambiar el serrín cada 6 meses. El cambio se realiza cada mes ya que finalmente se usa entre 200 y 300 veces cada día, dependiendo de la escala del campo podría ser necesario hacerlo más a menudo.⁽³⁰⁾

8. Retretes mejorados con separación de orina en Nepal

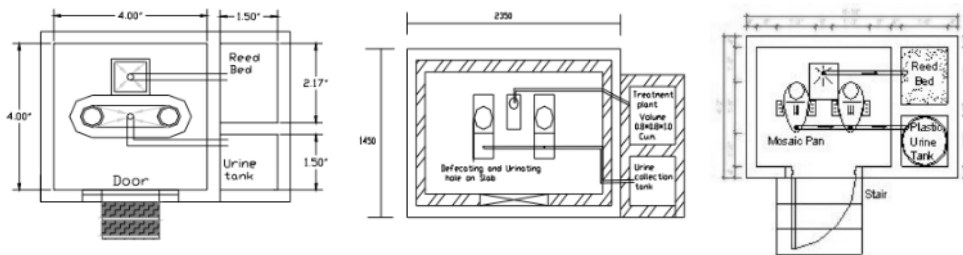
UN-HABITAT y la Organización de Medio Ambiente y Salud Pública (ENPHO) elaboraron el valle de Kathmandu, en Nepal, unos retretes con separación de orina que convierten los desechos en fertilizante apropiado para usar en agricultura.

Fig.36. Retrete mejorado con separación de orina en Kathmandu



30 GTZ. Automated composting toilet system at Asahiyama Zoo in Asahikawa City, Japan; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Alemania, 2006; <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1978> (17/04/2017)

La orina y las heces se almacenan por separado, estas últimas se cubren con ceniza, disponible en la cocina de cada hogar, para incrementar el pH, hasta que pasan 6 meses y se pueden utilizar. La cámara se ventila para eliminar los olores y gases producidos.



◀ Fig.37. Modelo en fase piloto, modelo mejorado en 2004 y modelo actual

Existen varios modelos de cámara, cuyo coste varía entre los 280 y los 320€.

El principal problema lo constituye el riesgo de manejo de la excreta antes de la completa eliminación de los patógenos.⁽³¹⁾

9. Biogás

Una alternativa a los sistemas de tratamiento de aguas residuales centralizados son las unidades de tratamiento anaeróbico (sin oxígeno) descentralizadas, o semi-descentralizadas.



◀ Fig.38. Reactor anaeróbico en Lesotho

Las principales ventajas de este tratamiento son la generación de biogás y la disminución en la producción de lodos fecales. Se puede aplicar a retretes en los que no sea necesaria una gran cantidad de agua, ya que esta diluye la materia orgánica y, salvo que se añadan residuos animales, no es adecuada.

31 GTZ. *Private urine diversion dehydration toilets in peri-urban areas in Kathmandu Valley, Nepal*. SuSanA, Alemania, 2006. (<http://www.susana.org/en/resources/library/details/1977>) (17/04/2017)

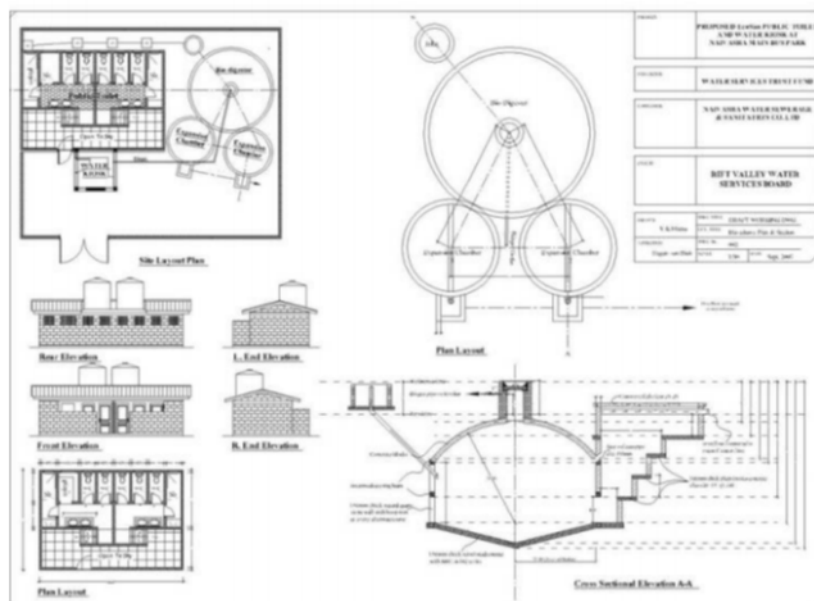
El saneamiento biogás es recomendable en lugares muy concurridos (o aquellos en los que hay disponibles desechos animales) y en los que el líquido efluente del reactor de biogás se pueda utilizar como fertilizante.⁽³²⁾

Fig.39. Mantenimiento del decantador de biogás en Naivasha, Kenia



Este proceso se aplicó en un proyecto, llevado a cabo por Estar Service Provider (WSP), Water Services Board (WSB) y Water Services Trust Fund (WSTF) en una parada de autobuses de Naivasha, tenía como objetivo ofrecer una solución de saneamiento enfocada en la reutilización de los desechos humanos.

Fig.40. Planos de la planta de biogás en Naivasha



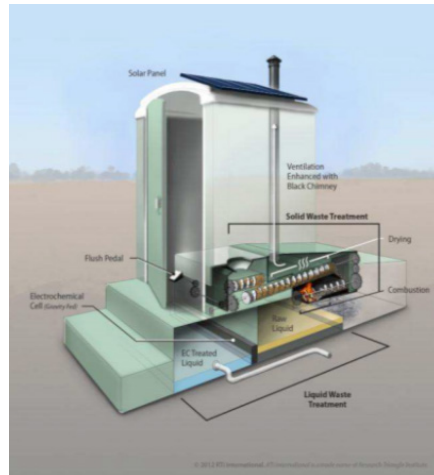
Se construyeron 5 retretes, 2 duchas, una planta de biogás y un quiosco de agua, y el coste total fue de 40 000€.⁽³³⁾

32 MANG, H.-P., LI, Z.; *Technology review of biogas sanitation - Biogas sanitation for blackwater, brown water or for excreta and organic household waste treatment and reuse in developing countries*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, 2010. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/877> (17/04/2017)

33 ONYANGO, P., RIECK, C.; *Public toilet with biogas plant and water kiosk Naivasha, Kenya*; SuSanA, 2010. <http://www.susana.org/en/resources/case-studies/details/131>

10. Desinfección electroquímica y combustión de biomasa

Un equipo de investigadores de RTI (Research Triangle Institute), formado por gente de la Universidad Estatal de Colorado y la Universidad de Duke, está desarrollando un sistema que combina la tecnología de desinfección electroquímica para el procesado de desechos líquidos con una nueva unidad de conversión de energía de biomasa para procesar los residuos sólidos, obteniendo combustible, energía y agua desinfectada no potable.

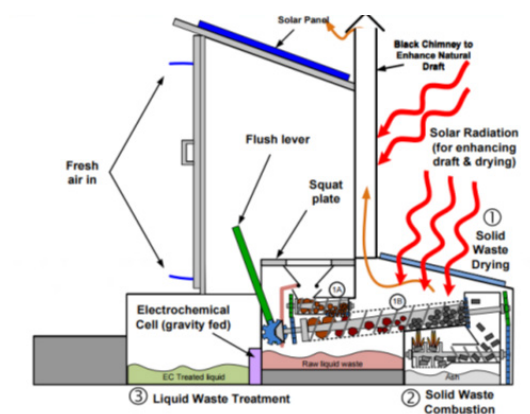


◀ Fig.41. Modelo 3d del diseño del sistema

El proceso consiste en la separación de residuos líquidos, y en la combustión de estos últimos, mejorada por la inyección de aire.

Este diseño cumple con tres funciones: desinfectar los residuos líquidos, secar y quemar residuos sólidos, y convertir la energía de combustión en electricidad que puede ser almacenada.

El proceso de secado de los desechos sólidos combina energía mecánica, solar y termal. Un dispositivo similar a un tornillo mecánico separa los líquidos, mientras que los sólidos se secan y queman con un aparato desarrollado por el equipo de RTI que convierte el calor en electricidad, que a su vez de almacena y utiliza para el tratamiento de agua, llevado a cabo mediante un proceso electroquímico. El agua resultante podrá ser utilizada para limpiar los retretes o como fertilizante.



◀ Fig.42. Esquema de funcionamiento del retrete

Las ventajas de este sistema son la seguridad en el manejo, que no requiere contacto con los desechos, y el hecho de que no necesita mucha agua ni energía una vez se haya comenzado el proceso.⁽³⁴⁾

11. Saneamiento de bajo coste por recolección al vacío

El centro de investigación para las Ciencias Ecomediambientales (RCEES) de la Academia China de las Ciencias (CAS) ha publicado un proyecto sobre un sistema de saneamiento de bajo coste que se basa en la recolección al vacío de desechos (tanto excrementos como de cocina) para su reutilización como fertilizante.

Fig.43. Planta de reutilización de aguas negras



El proyecto piloto se llevó a cabo en Chentang, un pueblo de la provincia de Juangsu. Está formado por 41 retretes de vacío, una tubería de 750m de largo, una estación de bombeo con un tanque de 24m³ para almacenar las aguas negras, y sirve a 23 familias. El coste total fue de 66 000 \$, debido a la fabricación y las partes necesarias, por lo que se espera que la construcción a gran escala costaría proporcionalmente 1/3 menos.

Fig.44. Verduras fertilizadas con las aguas tratadas



El mayor desafío a la hora de implantar este sistema es su construcción, se necesita un fabricante experto en el campo.⁽³⁵⁾

34 ROWE, B.; *Electrochemical disinfection with integrated biomass oven for solid waste processing and energy harvesting*, Research Triangle Institute, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1851> (20/04/2017)

35 FAN, B.; *Low-cost decentralized sanitation system based on vacuum collection and reuse of excreta and kitchen waste*; Chinese Academy of Sciences (CAS), China,

12. Carbonización hidrotérmica

La universidad de Loughborough está desarrollando un inodoro que transforma las heces en un material combustible altamente energético.



◀ Fig.45. Equipo de ensayo de la carbonización hidrotérmica

Este nuevo retrete usa un proceso de carbonización hidrotérmica para producir material que sea seguro manejar y que pueda ser usado para fertilizar el suelo. Se calientan los desechos en agua a altas temperaturas y distintas presiones. Dependiendo de las condiciones el proceso puede producir gases de hidrocarburo, líquidos, o partículas similares al carbón. El material producido se puede separar fácilmente del líquido sobrante y así ser usado para generar calor y energía mediante un generador solar, para así retroalimentar el proceso. Según los autores, el sólido generado es seguro de manejar, y el proceso dura alrededor de 24 horas.

En paralelo, están diseñando un sistema que además elimine los malos olores. El sistema está pensado para ser autosuficiente energéticamente hablando.

Su gran ventaja radica en que no requiere de sistema de alcantarillado, pero calentar el agua a la temperatura deseada requiere mucha energía.⁽³⁶⁾

13. Sol-char

Este retrete, que está siendo diseñado por un equipo de la Universidad de Colorado, convierte los residuos en carbón mediante energía solar. Están trabajando en un prototipo de sea autosufi-

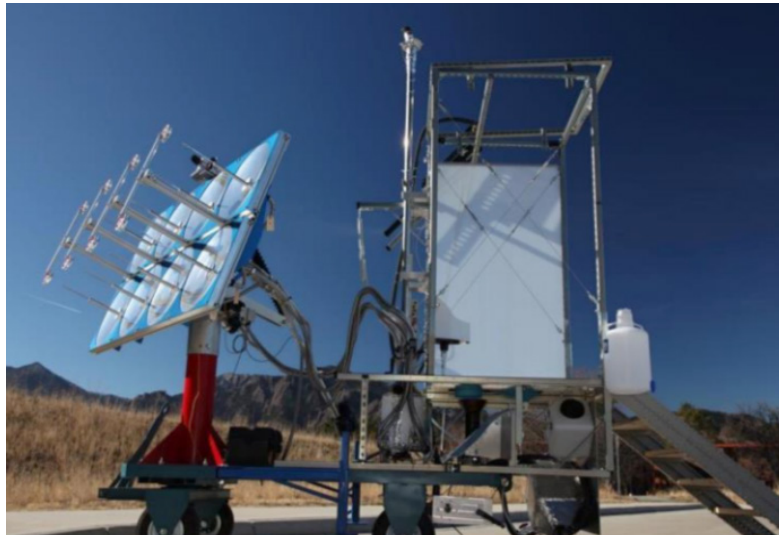
2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1822> (20/04/2017)

36 SOHAIL, M.; Using hydrothermal carbonization – or simply pressure cooking – to manage faecal sludge. Loughborough University, Reino Unido, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1786> (25/04/2017)

ciente, y no necesita alcantarillado ni agua.

Las antenas parabólicas concentran la energía solar, y el reactor puede alcanzar altas temperaturas incluso con pocas horas de sol limitando las pérdidas de calor por conducción al terreno circundante. Los contenedores tienen dos posiciones: la de recogida y la de pirolisis.

Fig.46. Prototipo de Sol- ▶
char



Una de las principales ventajas del sistema es que genera diversos productos de gran utilidad: el carbón, que se puede usar como combustible o como correctivo de suelos, orina desinfectada, con un posible uso como fertilizante, y el exceso de calor, que convertido en energía también se puede reutilizar.

El coste de una unidad es de 11 900\$, y sirve a un número limitado de personas (no más de 20 según los estándares del Proyecto Esfera), aunque se podría aplicar a un mayor número de letrinas si se optimiza la producción y utilización de la energía.⁽³⁷⁾

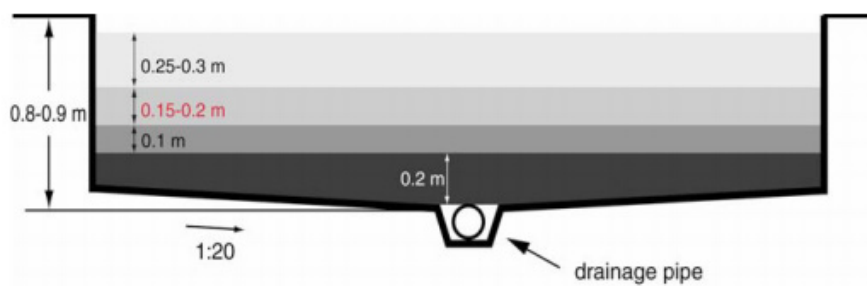
14. Co-compostaje de lodos fecales y residuos sólidos en Kumasi, Ghana

Este sistema se aplicó en Kumasi, la segunda ciudad más grande de Ghana, y fue desarrollado por varias instituciones, lideradas por el Instituto Internacional de Gestión de Agua (IWMI).

Consiste en una planta de co-compostaje, y el proceso consiste en dos pasos principales: secado de los lodos fecales (FS) en camas de secado y su co-compostaje, y el de desechos sólidos orgánicos (oS) en hileras. El co-compostaje de los dos tiene la ventaja de

37 LINDEN, K.; *Sol-char toilet: Using concentrated solar energy to stabilize fecal waste and produce a valuable soil amendment*, University of Colorado, Boulder, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1759> (01/06/2017)

que se complementan muy bien, los lodos fecales tienen un alto contenido en nitrógeno, mientras que los desechos sólidos orgánicos son ricos en carbono.



◀ Fig.47. Principio estructural de una cama de secado

En el prototipo se cubrió una superficie de 50 m² con dos camas de secado, que consisten en varias capas de arena y grava de distintos tamaños que funcionan como filtro.

El coste total fue de 16 500 €, y se produjeron aproximadamente 37 toneladas en un año.

El principal problema que se presentó fue el aumento del tiempo de tratado en situaciones de lluvia excesiva (algo que se podría evitar cubriendo las camas de secado, ya que no se hizo en este caso). Además, es necesario implementar un proceso seguro en el manejo de los residuos para evitar toda contaminación.⁽³⁸⁾

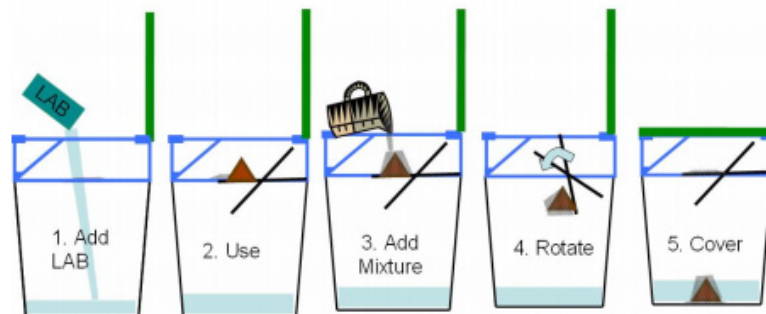
15. Porta preta

Esta solución propuesta por Katehrine Kinstedt, del Instituto de Gestión de Aguas Residuales y Protección del Agua en la Universidad Técnica de Hamburgo, se basa en el concepto de Saneamiento Terra Preta (TPS). Consiste en un retrete con separación de orina en el que las heces se someten a un proceso de lactofermentación, que se debe llevar a cabo bajo condiciones anaeróbicas. Primero se añaden una mezcla de agua, unas bacterias llamadas Lactobacillales (LAB) y azúcar (en torno a un 3%). Después de ser utilizado el retrete, las heces se cubren con carbón, y se depositan en el fondo del cubículo. Una vez lleno, se lleva a cabo el compostaje, que produce terra preta, que ayuda a la fertilización del suelo.

El Porta Preta se diseñó para ser de bajo coste, y se puede fabricar por sólo 25 \$, a los que hay que añadir el costo del equipo de procesado, que podría llegar a ser de hasta 23 \$.

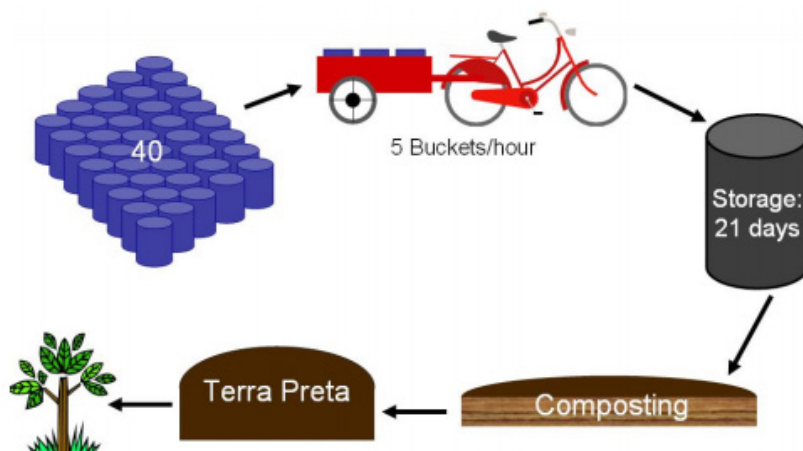
38 OLUFUNKE COFIE, DOULAYE KONÉ; 'Co-composting of faecal sludge & organic solid waste, KUmasi, Ghana'. En VONMÜNCH, E., INGLE, R. *Compilation of 25 case studies on sustainable sanitation projects from Africa*. Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA) and Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Alemania, 2012; 212p. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1623> (05/06/2017)

Fig.48. Proceso de higienización



Los desafíos que se encontraron fueron sobretodo ergonómicos (el cubo debe diseñarse para soportar el peso de los usuarios) y el manejo de las bacterias lactofermentantes, que se deben transportar en frío.⁽³⁹⁾⁽⁴⁰⁾

Fig.49. Esquema de recolección de porta preta



Conclusiones

A la hora de decidir qué sistema es el más apropiado para cada situación, hay una serie de condicionantes a tener en cuenta: la disponibilidad de agua, la de energía, el tipo de terreno (según la altura del nivel freático) y la posibilidad de excavación, la separación de orina, el tratamiento de olores, la reutilización de los desechos y el coste. Una vez decididos qué factores priorizar se podrá elegir el método más apropiado para cada contexto.

De los casos analizados, hay algunos que serán más útiles en si-

39 KINSTEDT, K.; *Design of a Portable Ecological Sanitation Toilet for Disaster Relief*. Institute of Wastewater Management and Water Protection; Technical University of Hamburg, Harburgo, 2012. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1507> (05/06/2017)

40 KINSTEDT, K.; *The Application of Ecological Sanitation for Excreta Disposal in Disaster Relief: Experience, Selection and Design*; Technical University of Hamburg, Harburgo, 2012. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1507> (05/06/2017)

tuaciones en las que no se pueda disponer de agua fácilmente, como el retrete solar de Caltech, la gasificación por plasma de microondas, el biogás, o Sol-char, entre otros.

Sin embargo, si se decide que la prioridad es que el sistema no consuma energía los más adecuados serían el inodoro autónomo blue diversion, safe sludge y porta preta, que no necesitan energía, o el retrete solar de Cal-tech y Sol-char, que la producen y son autosuficientes energéticamente hablando.

El coste de la fabricación también es un condicionante a tener en cuenta, pero más difícil de medir ya que la escala de los sistemas es muy variable: algunos proyectos están enfocados al uso de una sola persona mientras que otros se centran en grupos de población.

La mayoría de los sistemas estudiados se pueden aplicar a cualquier tipo de terreno, por lo que este no será un factor altamente condicionante.

A continuación se presenta una tabla que recoge todos los sistemas analizados por categorías, cuyo objetivo es que el trabajo de investigación sirva o se pueda emplear para la selección de distintas tecnologías a modo de manual de referencia en contexto de emergencia.

	Tipo	Necesidad de excavación (Sí/No:Sup/Pro-	Necesidad de agua	Necesidad de energía	Tratamiento de olores	Tipo de terreno	Separativo	Reutilización	Coste	Fuente
1	Retrete solar de Caltech	No	No	Sí. La produce.	No	Cualquiera	No	Fuente de energía (pila de combustible de hidrógeno)	-	Caltech & Tsinghua U (SuSanA)
2	Tecnología Biofil	No	Sí	Sí	No (no se generan)	Cualquiera	Sí	Se produce agua para riego	-	Biofilcom, plumbingafrica, researchgate (SuSanA)
3	Safe sludge	No	No	No	No	Cualquiera	Sí	No	-	University of California, Berkeley (SuSanA)
4	Gasificación por plasma de microondas	No	No	Sí	No	Cualquiera	No	Fuente de energía (pila de combustible de oxígeno)	-	TU Delft & Bill&Melinda Gates Foundation (SuSanA)
5	Pirólisis	No	No	Sí	No	Cualquiera	Sí	Transformación en carbón vegetal	<200\$/ud	Stanford University (SuSanA)
6	Inodoro autónomo Blue Diersion	No	Sí	No	No	Cualquiera	Sí	Tratamiento in situ de agua y heces	-	Blue diversion (SuSanA)
7	Retrete de compostaje automático en el zoo de Asahiyama	Sí	Sí	Sí	No (no se generan)	No accidentado	No	Compostaje	1400€/ud + 25/mes mantenimiento (5000 según otra fuente)	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), http://www.seiwa-denko.co.jp/biolux/top.html#JavaScript (SuSanA)
8	Retretes mejorados con separación de orina en Nepal	Sí	Sí	No	Sí	Excavable, nivel freático no superficial	Sí	Fertilizante	230\$/ud	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) (SuSanA)

9	Biogás	Sí	No	Sí	-	Lejos del nivel freático/barrera	No	Tratamiento de residuos para biogás: uso para cocinar, iluminar, calentar...	-	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) (SuSanA)
10	Desinfección electroquímica y combustión de biomasa	No	No	Sí	-	Cualquiera	Sí	Energía (fuel)	-	Research Triangle Institute (SuSanA)
11	Saneamiento de bajo coste por recolección al vacío	Sí	Sí	Sí	No	Cualquiera	No	Fertilizante	66000 \$/23familias	RCEES (SuSanA)
12	Carbonización hidrotérmica	No	Sí	Sí	Todavía no	Cualquiera	No	Combustible	-	Labman (SuSanA)
13	Sol-char	No	No	Sí (la produce)	No	Cualquiera	No	Carbón	11.900 \$	Universidad de Colorado (SuSanA)
14	Co-compostaje en Kumasi	Sí	No	No	No	Nivel freático no superficial	Sí	Compostaje	16.500 €	SuSanA
15	Porta preta	Sí	No	No	No	Excavable, nivel freático no superficial	No	Terra preta (compost)	-	IWMI (SuSanA)

07 CONCLUSIONES

En una situación de emergencia, las actuaciones en materia de agua y saneamiento son absolutamente esenciales para el bienestar y la salud de las personas afectadas por el desastre.

Los sistemas que se aplican actualmente se han quedado obsoletos y tienen limitaciones, como la falta de consideración del contexto y las necesidades concretas de cada población, y de reutilización de desechos. Las normas de actuación que plantea el Proyecto Esfera, a pesar de cubrir las necesidades más básicas y ser la referencia de todas las organizaciones humanitarias, no han variado desde su redacción en 1997 y, ya sea por falta de recursos o de financiación, no se aplican nuevas tecnologías que podrían tener efectos muy positivos en cuanto a rendimiento energético y reutilización de materiales.

La implementación de sistemas más innovadores, no sólo en la parte que concierne al usuario (el diseño del retrete) sino también en el otro extremo de la cadena, el manejo de la excreta y su eliminación, mejoraría los sistemas tradicionales en cuanto a reutilización de desechos y producción de energía.

Por esta razón se proponen una serie de soluciones, varias de las cuales abarcan todo el espectro del diseño, y otras centradas solamente en la parte que concierne a la reutilización, pero que son aplicables a los casos anteriores.

Estos sistemas no son adecuados para todas las situaciones, ya que condicionantes como la disponibilidad de agua y energía tienen un gran peso a la hora de elegir cuál se puede aplicar, de modo que es necesario valorar en cada caso su adecuación a un contexto concreto.

Por esta razón se proponen 15 soluciones, de las cuales 8 abarcan todo el espectro del diseño, y otras 7 centradas solamente en la parte que concierne a la reutilización, pero que son aplicables a los casos anteriores.

BIBLIOGRAFÍA

ABDALLAH, S; BURNHAM, G, 'Chapter 8 Water Sanitation and Hygiene in Emergencies'. En ABDALLAH, S; BURNHAM, G, *Public Health Guide for Emergencies*, The Johns Hopkins and the International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Boston, 2001; 70p.

COLAVIDAS, F.; OTEIZA, I.; SALAS, J. *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*, Madrid: Mairea, 2006; 292p.

FAN, B.; *Low-cost decentralized sanitation system based on vacuum collection and reuse of excreta and kitchen waste*; Chinese Academy of Sciences (CAS), China, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1822> (20/04/2017)

GARRIDO, Miguel Martín-Loeches; REBOLLO, Luis F. *Agua y saneamiento ambiental en proyectos de emergencia y de cooperación al desarrollo*. Universidad de Alcalá, 2008; 310p.

GTZ. *Automated composting toilet system at Asahiyama Zoo in Asahikawa City, Japan*; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Alemania, 2006; <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1978> (17/04/2017)

GTZ. *Private urine diversion dehydration toilets in peri-urban areas in Kathmandu Valley, Nepal*. SuSanA, Alemania, 2006. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1977> (17/04/2017)

HERZEN, B., TALSMA, L. *Conversion of human waste into biochar using pyrolysis at a community-scale facility in Kenya*. Stanford U. and The Climate Foundation, Stanford, 2014. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1832> (9/04/2017)

HOFFMAN, M., CID, C. *Development of a self-contained, PV-powered domestic toilet and wastewater treatment system*. Pasadena: California Institute of Technology, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1831> (9/04/2017)

JANSSEN, P., DIEHL, J. C. *Upgrade human waste to fuel gas with plasma-driven gasification*. Technical University of Delft, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1787> (9/04/2017)

KINSTEDT, K.; *Design of a Portable Ecological Sanitation Toilet for Disaster Relief*. Institute of Wastewater Management

and Water Protection; Technical University of Hamburg, Harburgo, 2012. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1507> (05/06/2017)

KINSTEDT, K.; *The Application of Ecological Sanitation for Excreta Disposal in Disaster Relief: Experience, Selection and Design*; Technical University of Hamburg, Harburgo, 2012. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1507> (05/06/2017)

LINDEN, K.; *Sol-char toilet: Using concentrated solar energy to stabilize fecal waste and produce a valuable soil amendment*; University of Colorado, Boulder, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1759> (01/06/2017)

LÓPEZ DELGADO, Leire; SCHIFFER, Andreas. *Manual de Requerimientos Mínimos para Intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias*. AECID, 2012. 190p.

MANG, H.-P., LI, Z.; *Technology review of biogas sanitation - Biogas sanitation for blackwater, brown water or for excreta and organic household waste treatment and reuse in developing countries*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, 2010. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/877> (17/04/2017)

NELSON, K.; *Safe sludge: The disinfection of latrine faecal sludge with ammonia naturally present in excreta*. University of California at Berkeley, 2013; <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1806> (9/04/2017)

OLUFUNKE COFIE, DOULAYE KONÉ; 'Co-composting of faecal sludge & organic solid waste, Kumasi, Ghana'. En VON MÜNCH, E., INGLE, R. *Compilation of 25 case studies on sustainable sanitation projects from Africa*. Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA) and Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Alemania, 2012; 212p. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1623> (05/06/2017)

OMS, UNICEF, *La meta de los ODM relativa al agua potable y el saneamiento: el reto del decenio para zonas urbanas y rurales*, Ginebra, 2007; 48p.

ONYANGO, P., RIECK, C.; *Public toilet with biogas plant and water kiosk Naivasha, Kenya*; SuSanA, 2010. <http://www.susana.org/en/resources/case-studies/details/131> (1/06/2017)

Organización Mundial de la Salud, *Progresos en materia de saneamiento y agua potable: Informe de actualización 2015 y evaluación del ODM*, Ginebra, 2015; 90p.

OWUSU-ANTWI, Peter: *Occurrence of on-site sanitation technologies in poor urban communities: A case of the Biofil Toilet Technology*. UNESCO-IHE - Institute for Water Education (presentación para la conferencia FSM3 en Hanoi), 2015. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1831> (9/04/2017)

PÉREZ FOGUET, Agustí; JIMÉNEZ, Alejandro, *El agua como elemento clave para el desarrollo*, 2011; pp136-137

Proyecto Esfera. *Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria*, Bourton on Dunsmore, Reino Unido: Practical Action Publishing, 2011; 450p. ; traducción de María Eliana Inostrosa.

ROWE, B.; *Electrochemical disinfection with integrated biomass oven for solid waste processing and energy harvesting*, Research Triangle Institute, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1851> (20/04/2017)

SOHAIL, M.; Using hydrothermal carbonization – or simply pressure cooking – to manage faecal sludge. Loughborough University, Reino Unido, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1786> (25/04/2017)

VV.AA. *Blue Diversion Autarky, a self-sustaining grid free toilet*, Eawag (Swiss Federal Institute for Aquatic Science and Technology); Switzerland, 2015. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/2237> (17/04/2017)

BIBLIOGRAFÍA COMENTADA

- Proyecto Esfera. Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria, Bourton on Dunsmora, Reino Unido: Practical Action Publishing, 2011: 450p.; traducción de María Eliana Inostrosa.

El manual de Proyecto Esfera, elaborado en 1997 por diversas organizaciones no gubernamentales, ha sido una de las piezas de apoyo clave de este trabajo, ya que determina los estándares mínimos a respetar en actuaciones en situaciones de emergencia. La primera parte del trabajo se ha basado en el análisis de las normas mínimas que se plantean en él.

- LÓPEZ DELGADO, Leire; SCHIFFER, Andreas. Manual de Requerimientos Mínimos para Intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias. AECID, 2012. 190p.

Este manual, editado por la Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo, complementa al manual de Proyecto Esfera y ha sido fundamental para el desarrollo de esta investigación. La diferencia con la Carta Humanitaria es que este manual se centra en las intervenciones referentes a agua, saneamiento e higiene, y entra en más detalle en cuanto a las medidas a tomar en estas situaciones.

- Entrevista realizada por la autora a Richard Bauer, asesor global de WASH (Agua, Saneamiento y promoción de la Higiene) en Norwegian Refugee Council, el 18 de abril de 2017.

Esta entrevista fue clave para el desarrollo del trabajo, ya que sirvió para confirmar la hipótesis principal sobre la cual se basa, dando además ejemplos concretos de actuaciones de emergencia en los que el uso de las técnicas de saneamiento tradicionales había supuesto algún tipo de problema.

- SuSanA (Sustainable Sanitation Alliance)

La web de SuSanA ha sido una fuente esencial en este trabajo, ya que recopila las investigaciones (tanto terminadas como en desarrollo) de diversas universidades y asociaciones, relacionadas con el saneamiento sostenible. En ella se han encontrado las innovaciones tecnológicas que constituyen la parte central de este trabajo.

PROCEDENCIA DE LAS IMÁGENES

Fig.1. Portada del Proyecto Esfera. Tomado de Proyecto Esfera. *Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria*, Bourton on Dunsmore, Reino Unido: Practical Action Publishing, 2011; p.1

Fig.2. Proporción de población con acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas. Tomado de: Organización Mundial de la Salud, *Progresos en materia de saneamiento y agua potable: Informe de actualización 2015 y evaluación del ODM*, Ginebra, 2015; p.7

Fig.3. Proporción de tipos de saneamiento por zonas. Tomado de: Organización Mundial de la Salud, *Progresos en materia de saneamiento y agua potable: Informe de actualización 2015 y evaluación del ODM*, Ginebra, 2015; p.9

Fig.4. Causas de muerte más frecuentes. Tomado de: ABDALLAH, S; BURNHAM, G, 'Chapter 8 Water Sanitation and Hygiene in Emergencies'. En ABDALLAH, S; BURNHAM, G, *Public Health Guide for Emergencies*, The Johns Hopkins and the International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Boston, 2001; p.4

Fig.5. Esquema de las distancias a respetar referentes a saneamiento (elaboración propia a partir de datos del Proyecto Esfera)

Fig.6. Esquema de la proporción recomendada de personas por retrete (elaboración propia a partir de datos del Proyecto Esfera)

Fig.7. Campos de defecación (elaboración propia a partir del *Manual de Requerimientos Mínimos para Intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias*)

Fig.8. Baño químico portátil. (elaboración propia a partir del *Manual de Requerimientos Mínimos para Intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias*)

Fig.9. Letrinas trincheras. (elaboración propia a partir del *Manual de Requerimientos Mínimos para Intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias*)

Fig.10. Letrina tradicional (elaboración propia a partir de *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*)

Fig.11. Letrina de agua (elaboración propia a partir de *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*)

Fig.12. Letrina abonera (elaboración propia a partir de *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*)

Fig.13. Letrina de cierre hidráulico (elaboración propia a partir de *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*)

Fig.14. Letrina de pozo anegable (elaboración propia a partir de *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*)

Fig.15. Letrina VIP (elaboración propia a partir de *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*)

Fig.16. Letrina ecosan (elaboración propia a partir de <http://iffi.org.uk/projects/lifeisland/documents/lifeisland.htm>) Consultado el 06/06/2017

Fig.17. Letrina de foso elevado (elaboración propia a partir de *Hacia una manualística universal de Habitabilidad Básica: Catálogo de componentes, servicios e instalaciones de bajo coste*)

Fig.18. Fosa séptica (elaboración propia a partir del *Manual de Requerimientos Mínimos para Intervenciones en Agua, Saneamiento e Higiene en Emergencias*)

Fig.19. Campo de refugiados de Zaatari. Tomado de: UNHCR. *Site planning and Shelter Camp Restructure Project*. 2016. p.4

Fig.20. Comentarios positivos y negativos sobre la reestructuración del campo. Tomado de: UNHCR. *Site planning and Shelter Camp Restructure Project*. 2016. p.49

Fig.21. Plano y modelo 3d del retrete solar de Caltech. Tomado de: HOFFMAN, M., CID, C. *Development of a self-contained, PV-powered domestic toilet and wastewater treatment system*. Pasadena: California Institute of Technology, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1831> (9/04/2017)

Fig.22. Prototipo del retrete solar del Caltech construido en India. Tomado de: HOFFMAN, M., CID, C. *Development of a self-contained, PV-powered domestic toilet and wastewater treatment system*. Pasadena: California Institute of Technology, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1831> (9/04/2017)

Fig.23. Esquema de funcionamiento del retrete con tecnología Biofil. Tomado de: WUSU-ANTWI, Peter: *Occurrence of on-site sanita-*

tion technologies in poor urban communities: A case of the Biofil Toilet Technology. UNESCO-IHE - Institute for Water Education (presentación para la conferencia FSM3 en Hanoi), 2015. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1831> (9/04/2017)

Fig.24. Retrete con tecnología Biofil construido en Ghana. Tomado de: WUSU-ANTWI, Peter: *Occurrence of on-site sanitation technologies in poor urban communities: A case of the Biofil Toilet Technology.* UNESCO-IHE - Institute for Water Education (presentación para la conferencia FSM3 en Hanoi), 2015. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1831> (9/04/2017)

Fig.25. Proceso de desinfección mediante orina. Tomado de: NELSON, K.; *Safe sludge: The disinfection of latrine faecal sludge with ammonia naturally present in excreta.* University of California at Berkeley, 2013; <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1806> (9/04/2017)

Fig.26. Ensayos de campo de Sanergy del planteamiento Safe Sludge. Tomado de: NELSON, K.; *Safe sludge: The disinfection of latrine faecal sludge with ammonia naturally present in excreta.* University of California at Berkeley, 2013; <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1806> (9/04/2017)

Fig.27. Diseño del generador. Tomado de: JANSSEN, P., DIEHL, J. C. *Upgrade human waste to fuel gas with plasma-driven gasification.* Technical University of Delft, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1787> (9/04/2017)

Fig.28. Salida de gas y entrada de residuos sólidos del pirolizador. Tomado de: HERZEN, B., TALSMA, L. *Conversion of human waste into biochar using pyrolysis at a community-scale facility in Kenya.* Stanford U. and The Climate Foundation, Stanford, 2014. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1832> (9/04/2017)

Fig.29. Cubo de carbón resultante del reactor. Tomado de: HERZEN, B., TALSMA, L. *Conversion of human waste into biochar using pyrolysis at a community-scale facility in Kenya.* Stanford U. and The Climate Foundation, Stanford, 2014. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1832> (9/04/2017)

Fig.30. Prototipo en funcionamiento en Delhi. Tomado de: HERZEN, B., TALSMA, L. *Conversion of human waste into biochar using pyrolysis at a community-scale facility in Kenya.* Stanford U. and The Climate Foundation, Stanford, 2014. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1832> (9/04/2017).

Fig.31. Flujo de materiales. Tomado de: VV.AA. *Blue Diversion Autarky, a self-sustaining grid free toilet,* Eawag (Swiss Federal Institute for Aquatic Science and Technology); Switzerland, 2015. <http://>

www.susana.org/en/resources/library/details/2237 (17/04/2017)

Fig.32. Modelo 3d del retrete. Tomado de: VV.AA. *Blue Diversion Autarky, a self-sustaining grid free toilet*, Eawag (Swiss Federal Institute for Aquatic Science and Technology); Switzerland, 2015. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/2237> (17/04/2017)

Fig.33. Modelo de Blue Diversion en Mukuru, Nairobi. Tomado de: <http://www.bluediversiontoilet.com/blog/testing-the-blue-diversion-toilet-in-mukuru> (05/06/2017)

Fig.34. Esquema de funcionamiento del retrete. Tomado de: GTZ. *Automated composting toilet system at Asahiyama Zoo in Asahikawa City, Japan*; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Alemania, 2006; <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1978> (17/04/2017)

Fig.35. Datos y foto de un reactor S50. Tomado de: GTZ. *Automated composting toilet system at Asahiyama Zoo in Asahikawa City, Japan*; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Alemania, 2006; <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1978> (17/04/2017)

Fig.36. Retrete mejorado con separación de orina en Kathmandu. Tomado de: GTZ. *Private urine diversion dehydration toilets in peri-urban areas in Kathmandu Valley, Nepal*. SuSanA, Alemania, 2006. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1977> (17/04/2017)

Fig.37. Modelo en fase piloto, modelo mejorado en 2004 y modelo actual. Tomado de: GTZ. *Private urine diversion dehydration toilets in peri-urban areas in Kathmandu Valley, Nepal*. SuSanA, Alemania, 2006. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1977> (17/04/2017).

Fig.38. Reactor anaeróbico en Lesotho. Tomado de: MANG, H.-P., LI, Z.; *Technology review of biogas sanitation - Biogas sanitation for blackwater, brown water or for excreta and organic household waste treatment and reuse in developing countries*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, 2010. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/877> (17/04/2017)

Fig.39. Mantenimiento del decantador de biogás en Naivasha, Kenia. Tomado de: MANG, H.-P., LI, Z.; *Technology review of biogas sanitation - Biogas sanitation for blackwater, brown water or for excreta and organic household waste treatment and reuse in developing countries*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, 2010. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/877> (17/04/2017)

Fig.40. Planos de la planta de biogás en Naivasha. Tomado de: ONYANGO, P, RIECK, C.; *Public toilet with biogas plant and water kiosk Naivasha, Kenya*; SuSanA, 2010. <http://www.susana.org/en/resources/case-studies/details/131> (1/06/2017)

Fig.41. Modelo 3d del diseño del sistema. Tomado de: ROWE, B.; *Electrochemical disinfection with integrated biomass oven for solid waste processing and energy harvesting*, Research Triangle Institute, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1851> (20/04/2017)

Fig.42. Esquema de funcionamiento del retrete. Tomado de: ROWE, B.; *Electrochemical disinfection with integrated biomass oven for solid waste processing and energy harvesting*, Research Triangle Institute, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1851> (20/04/2017)

Fig.43. Planta de reutilización de aguas negras. Tomado de: FAN, B.; *Low-cost decentralized sanitation system based on vacuum collection and reuse of excreta and kitchen waste*; Chinese Academy of Sciences (CAS), China, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1822> (20/04/2017)

Fig.44. Verduras fertilizadas con las aguas tratadas. Tomado de: FAN, B.; *Low-cost decentralized sanitation system based on vacuum collection and reuse of excreta and kitchen waste*; Chinese Academy of Sciences (CAS), China, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1822> (20/04/2017)

Fig.45. Equipo de ensayo de la carbonización hidrotérmica. Tomado de: <http://www.labman.co.uk/hydrothermal-carbonisation-test-rig-ready-for-delivery/#prettyPhoto/0/> (05/06/2017)

Fig.46. Prototipo de Sol-char. Tomado de: LINDEN, K.; *Sol-char toilet: Using concentrated solar energy to stabilize fecal waste and produce a valuable soil amendment*; University of Colorado, Boulder, 2013. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1759> (01/06/2017)

Fig.47. Principio estructural de una cama de secado. Tomado de: OLUFUNKE COFIE, DOULAYE KONÉ; 'Co-composting of faecal sludge & organic solid waste, KUmasi, Ghana'. En VON MÜNCH, E., INGLE, R. *Compilation of 25 case studies on sustainable sanitation projects from Africa*. Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA) and Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Alemania, 2012; 212p. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1623> (05/06/2017)

Fig.48. Esquema de recolección de porta preta. Tomado de: KINSEDT, K.; *Design of a Portable Ecological Sanitation Toilet for Di-*

saster Relief. Institute of Wastewater Management and Water Protection; Technical University of Hamburg, Harburgo, 2012. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1507> (05/06/2017)

Fig.49. Proceso de higienización. Tomado de: KINSTEDT, K.; *Design of a Portable Ecological Sanitation Toilet for Disaster Relief. Institute of Wastewater Management and Water Protection; Technical University of Hamburg, Harburgo, 2012. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1507> (05/06/2017)*

