

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**



**MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN DE DESASTRES**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER  
CURSO 2023-2024**

**Gestión del abastecimiento de agua en situaciones de emergencia.  
Aplicación a un campo de refugiados.**

Javier Acherkouk Monsalvo

Septiembre 2024

Tutora: Dra. Isabel del Castillo

Filiación de la tutora: E.T.S.I de Caminos, Canales y Puertos, de la UPM



## Summary

For as long as I can remember, I have felt the need to understand why water is the way it is, and what makes it so fundamental to life. I was excited to learn about its physical, chemical and biological properties. I was fascinated to explore all its symbolism for so many peoples and cultures. However, I had never faced the task of learning and understanding about water from an emergency perspective. Ensuring its supply and understanding what makes it possible has been my first lesson.

The main objective of this master's thesis is to review the key importance of water supply in a refugee camp. To do so, the current situation of refugee camps will first be contextualized and their logistical needs, including water supply, will be pointed out.

Following a literature review on the methods and technologies applicable in this regard, a practical case of direct application will be argued and developed based on all of the above, and which is representative of the reality of refugee camps.

Arundhati Roy reflects: "Water is not a good that should be for sale, but a human right. Therefore, access to it must be guaranteed for all, without distinction." This perspective underlines that water is an essential resource and, therefore, should not be the subject of speculation or exclusion.

Vandana Shiva states that: "Water is the source of life, a resource without which there is no life, no development, no social justice." This statement highlights the vital importance of ensuring that all people, especially in situations of crisis or vulnerability, have access to clean and safe water to maintain a minimum of dignity. In the context of refugee camps, enough drinking water per day must be ensured to meet basic needs, not only for drinking, but also for sanitation and hygiene (WASH).

In *Liquid Love: On the Fragility of Human Bonds*, Zygmunt Bauman argued that human bonds have become as fluid and shifting as the living conditions in these refugee camps: temporary, vulnerable and without a sense of permanence or security. Refugee camps must cope with extremely adverse conditions. In this context, rapid and effective decision-making is crucial to address immediate humanitarian needs, particularly those related to water supply.

## Resumen

Desde que tengo uso de razón, he sentido la necesidad de entender por qué el agua es como es, y qué la hace tan fundamental para la vida. Me emocioné aprendiendo propiedades físicas, químicas y biológicas. Me fascinaba explorar toda su simbología para tantos pueblos y culturas. Sin embargo, nunca me había enfrentado a la tarea de aprender y comprender sobre el agua desde una perspectiva de emergencias. Asegurar su abastecimiento y entender qué lo hace posible ha sido mi primera enseñanza.

El objetivo central de este trabajo final de máster es revisar la importancia clave del abastecimiento de agua en un campo de refugiados. Para ello, en primer lugar, se contextualizará la situación actual de los campos de refugiados y se señalarán sus necesidades logísticas, entre ellas el abastecimiento de agua.

Tras una revisión bibliográfica sobre los métodos y tecnologías aplicables en ese sentido, se argumentará y desarrollará un caso práctico de aplicación directa basado en todo lo anterior, y que sea representativo sobre la realidad de los campos de refugiados.

Arundhati Roy reflexiona: "El agua no es un bien que deba estar a la venta, sino un derecho humano. Por ello, su acceso debe ser garantizado para todos, sin distinción". Esta perspectiva subraya que el agua es un recurso esencial y que, por tanto, no debería ser objeto de especulación o exclusión.

Vandana Shiva afirma que: "El agua es la fuente de vida, un recurso sin el cual no hay vida, ni desarrollo, ni justicia social". Esta afirmación destaca la importancia vital de asegurar que todas las personas, especialmente en situaciones de crisis o vulnerabilidad, tengan acceso a agua limpia y segura para poder mantener un mínimo de dignidad. En el contexto de los campos de refugiados debe asegurarse una cantidad suficiente de agua potable al día para satisfacer las necesidades básicas, no para beber, sino también para el saneamiento e higiene (WASH).

En el *"Amor líquido: Sobre la fragilidad de los vínculos humanos"*, Zygmunt Bauman argumentaba que los vínculos humanos, se han vuelto tan fluidos y cambiantes como las condiciones de vida en esos campos de refugiados: provisionales, vulnerables y sin un sentido de permanencia o seguridad. Los campos de refugiados deben enfrentarse a condiciones extremadamente adversas. En este contexto, la toma de decisiones rápidas y efectivas es crucial para atender las necesidades humanitarias inmediatas, en particular aquellas que tengan que ver con el abastecimiento de agua.



**Curso académico:** 2023/2024

**Estudiante:** Javier Acherkouk Monsalvo

**Título del TFM:** “Gestión del abastecimiento de agua en situaciones de emergencia. Aplicación a un campo de refugiados.”

**Director/es de la UCM y/o la UPM (indicar centro, e incluir firmas):**

Dra. Isabel del Castillo, Universidad Politécnica de Madrid

**Entidad colaboradora y Tutor de la Entidad (si procede, indicar correo electrónico):**

**Objetivos y alcance:**

El presente TFM se contextualiza en la gestión del agua en situaciones de emergencia, concretamente en los campos de refugiados, con un énfasis específico en el abastecimiento de agua. El análisis se basa en seguir la siguiente metodología: se realiza una revisión bibliográfica exhaustiva, que proporcione un marco teórico para entender el alcance y las implicaciones de las estrategias de gestión del agua en emergencias, para después proponer un caso práctico.

En primer lugar, tras un análisis de la situación de los refugiados en el mundo, se presenta una serie de definiciones y premisas básicas derivadas de la revisión bibliográfica al respecto, que establecen el rango de posibles acciones y necesidades. Este marco teórico contextualiza el problema desde las perspectivas de infraestructura, tecnología y contextos de las personas refugiadas.

En segundo lugar, se aborda el problema del abastecimiento de agua mediante una descripción y síntesis de las tecnologías más relevantes. Esta sección integra los hallazgos de la revisión bibliográfica anterior para examinar los desafíos y soluciones necesarios para un estudio integral del abastecimiento de agua en campos de refugiados.

Por último, se presenta un caso práctico ficticio en el que se aplican los conocimientos y herramientas obtenidos a partir de la revisión bibliográfica. En este caso, se exploran y desarrollan soluciones para el abastecimiento de agua en un campo de refugiados, demostrando cómo los principios teóricos se traducen en estrategias prácticas para resolver problemas reales.

**Objetivos:**

- Análisis general de la situación de los refugiados en el mundo.
- Síntesis de las necesidades logísticas de los campos de refugiados.
- Identificación de las necesidades y vulnerabilidades específicas en relación con la gestión del agua, haciendo hincapié en (WASH), y en concreto, en el abastecimiento del agua.
- Revisión bibliográfica de las tecnologías más importantes en el abastecimiento del agua.
- Desarrollo de soluciones prácticas y realistas para el abastecimiento del agua mediante la propuesta de un caso práctico de un campo de refugiados suficientemente representativo.



## **Agradecimientos**

Mi más sincero agradecimiento a mi tutora, Isabel, y a los profesores y profesoras del Máster en Gestión de Desastres. También quisiera agradecer los aprendizajes al resto de mis compañeros y compañeras de máster, en especial a Klara, Angelo y Franco. Agradecimiento también a mis amigos, amigas, en especial a Yolanda, Marta y a Carlos; y finalmente también, a mis familiares, los que están y los que no están.

Quiero dedicar también en estas líneas un pensamiento especial a las poblaciones que han necesitado acceso a recursos hídricos en situaciones de refugio temporal, recordando también a aquellas personas que aún viven en situaciones de refugio "cronificado".



## Índice

Introducción .....	2
1.1 Los campos de refugiados y sus necesidades logísticas .....	3
1.2 Situación de los refugiados en el mundo .....	7
1.3 WASH en situaciones de emergencia humanitaria .....	10
1.3.1 WASH en Campos de Refugiados .....	11
2. Abastecimiento de agua en emergencias .....	14
2.1 Recursos de agua disponibles .....	15
2.2 Infraestructuras necesarias .....	17
2.3 Cantidad y calidad del agua necesaria .....	26
2.3.1. Necesidades mínimas de agua.....	27
2.3.2. Calidad de agua necesaria .....	27
2.3.3. Control de la calidad del agua.....	28
2.4 Tecnologías de potabilización: ventajas y problemáticas .....	29
3. Caso práctico: aplicación a un campo de refugiados .....	32
3.1 Introducción y dimensionamiento.....	32
3.2 Necesidades de agua para el abastecimiento del campo de refugiados .....	35
3.3 Identificación y análisis de las fuentes disponibles, captación, tratamiento y almacenamiento del agua obtenida. ....	37
3.4 Alternativas de tratamiento, suministro y almacenamiento .....	44
3.5 Descripción de la solución adoptada en el campo de refugiados.....	45
4. Conclusiones y desarrollos futuros .....	47
5. Bibliografía .....	51
6. Tabla de ilustraciones.....	57
7. Relación de tablas .....	59
8. Anexo II: Imágenes sobre algunas tecnologías y elementos involucrados en el abastecimiento del agua .....	60
9. Anexo III: Comparación de los requerimientos sobre el abastecimiento de agua según Esfera y el manual de emergencias de UNHCR .....	74
10. Anexo IV : Tabla con límites OMS de algunos parámetros medidos en el agua .....	75
11. Anexo V: Ejemplos de hipotéticos análisis de agua en Aguas Claras .....	76
10. Anexo VI: Plano esquemático en dos dimensiones de Aguas Claras .....	79
11. Anexo VII: Esquema del abastecimiento de agua potable en los campos de refugiados de Tindouf (Argelia). ....	80



## Introducción

Un campo de refugiados (Cuny, 1977) es una instalación temporal (Karsu, 2019) diseñada para albergar a personas que han huido de sus hogares debido a conflictos armados, persecuciones, desastres naturales u otras condiciones que ponen en peligro su seguridad, dignidad y bienestar.

Los primeros ejemplos de campos de refugiados organizados se remontan a finales del siglo XIX y principios del siglo XX (Malkki, 1995). Aunque el concepto de campo de refugiados en un sentido más moderno comenzó a desarrollarse durante la Primera Guerra Mundial, cuando millones de personas fueron desplazadas en Europa. La Sociedad de Naciones, precursora de las Naciones Unidas, fue un factor instrumental clave en la creación de estos campos. (Loescher, 2001).

La Segunda Guerra Mundial generó desplazamientos masivos en Europa y Asia. Por ello, tras la guerra, la creación de campos de refugiados se convirtió en una necesidad imperiosa, especialmente en Europa, donde ya las Naciones Unidas, a través de la Agencia de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR), jugaron un papel esencial en la gestión de la crisis humanitaria (Gatrell, 2013). En concreto, ACNUR, fundado en 1950, se encargó de proporcionar asistencia y protección a millones de refugiados en campos establecidos en toda Europa, donde las personas esperaban ser reasentadas o repatriadas. Estos campos no solo proporcionaban refugio físico, sino también servicios básicos como atención médica, educación y alimentos (Chimni, 2004).

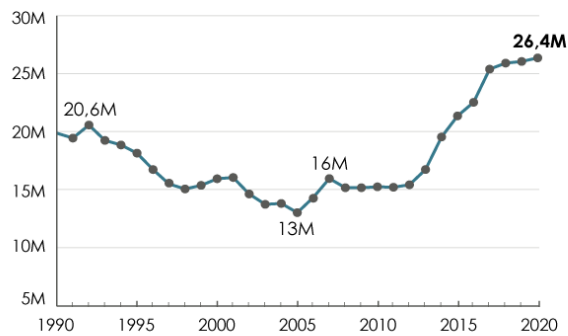
Durante la Guerra Fría, los campos de refugiados se convirtieron en una característica recurrente en diversas regiones afectadas por conflictos. En Asia, los conflictos en Corea, Vietnam y Camboya generaron desplazamientos masivos, y se establecieron campos en países vecinos. En África, los conflictos de descolonización y las guerras civiles en países como Ruanda, Sudán y Somalia llevaron a la creación de grandes campos de refugiados administrados por el ACNUR y otras organizaciones humanitarias (Weima, 2019).

En el siglo XXI, la proliferación de conflictos en el Medio Oriente, especialmente la Guerra Civil Siria, ha dado lugar a la creación de campos de refugiados masivos en países vecinos como Jordania, Líbano y Turquía. Un ejemplo de esto es el campo de Zaatari en Jordania, que es uno de los más grandes, proporcionando refugio a cientos de miles de sirios desplazados (Denis Sullivan, 2014). Además, los campos de refugiados han surgido en respuesta a otras crisis humanitarias, como desastres naturales y la violencia étnica. Por ejemplo, en Myanmar, se llevó a cabo la persecución de la minoría Rohingya, y su posterior huida a Bangladesh, donde el campo de refugiados de Kutupalong se convirtió en el más grande del mundo en 2018 (Albu, 2019).

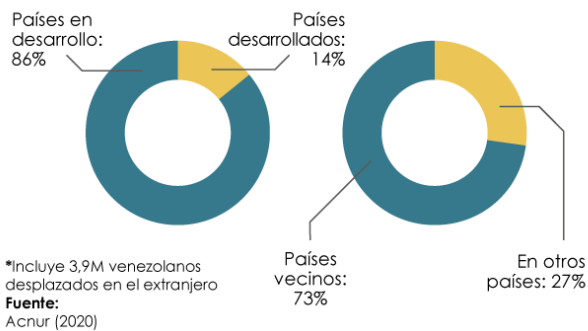
Según estimaciones recientes, existen aproximadamente 1,200 campos de refugiados oficiales en todo el mundo. Estos campos están mayormente localizados en regiones que albergan grandes poblaciones de refugiados, como África, el Medio Oriente y Asia. Además, muchos refugiados viven en asentamientos informales o áreas urbanas que no están formalmente reconocidos como campos de refugiados (ACNUR, 2023, págs. 15-18). En la siguiente imagen, se muestran varios datos de la situación de los refugiados en el mundo, donde llama la atención la tendencia al alza, cada vez hay más personas refugiadas en el mundo. También que hay un enorme porcentaje de refugiados que se encuentran en países vecinos, y además, la gran mayoría se encuentra en países en desarrollo. Si se observan los países que acogen hay posiblemente una gran variabilidad climática y geográfica donde quizá predominan las zonas semiáridas (Turquía), (Gleick, 2014, págs. 331-341).

# La situación de los refugiados

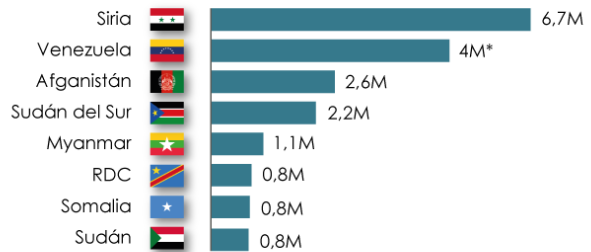
Evolución del número de refugiados



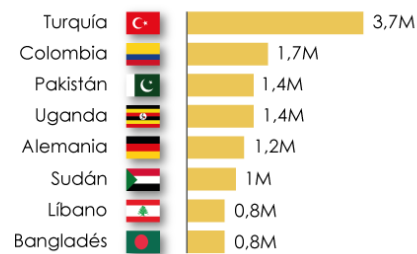
¿Dónde se encuentran?



Principales países de origen



Principales países de acogida



**Ilustración 1.** En esta imagen se pueden observar datos de 2020 sobre la situación de los refugiados en el mundo, destacándose que, en el presente siglo, la tendencia es claramente al alza. (EOM, s.f.).

## 1.1 Los campos de refugiados y sus necesidades logísticas

En los campos de refugiados se deben proporcionar (Hadafi, 2020, págs. 47-49) las necesidades básicas a los refugiados. Estas deberían incluir refugio temporal, agua, saneamiento, higiene, sanidad, alimentos y cuidados, entre otras. Y deben proveerse y asegurarse hasta que los refugiados puedan regresar a sus hogares o encontrarse soluciones que permitan la estabilidad en el largo plazo.

Todas las acciones necesarias para proporcionar las necesidades básicas constituyen la logística de un campo de refugiados (Abikova, 2023). De la propia definición de un campo de refugiados se infiere, que toda su logística se enfrenta a desafíos de índole geográfica, social y material, debido a su constante evolución (UNHCR, UNHCR Emergency Handbook, 2022, págs. 24-26) y carácter temporal.

ACNUR es una agencia de la organización de las naciones unidas (ONU), dedicada a proteger y asistir a los refugiados, personas desplazadas internamente y apátridas en todo el mundo, brindando apoyo en la búsqueda de soluciones duraderas, como el reasentamiento o la integración local (ACNUR, 2023, págs. 1-2). Por su parte, la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA) es una entidad también de la ONU responsable de coordinar la respuesta humanitaria internacional en situaciones de emergencia, facilitando la cooperación entre agencias humanitarias,



gobiernos y organizaciones no gubernamentales (OCHA, Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios. (2023). What We Do. OCHA. , s.f., pág. 1).

En cuanto a logística, ACNUR se encarga directamente de la gestión logística en los propios campos de refugiados, mientras que OCHA se centra en coordinar la respuesta humanitaria a nivel global, asegurando una utilización eficiente de los recursos y una respuesta efectiva y oportuna (Lasheras, 2008).

Los campos de refugiados deben, por tanto, estar diseñados teniendo en cuenta que se han de proporcionar a las personas desplazadas acceso a todas las necesidades básicas mediante la pertinente logística. En particular, el refugio y el acceso al agua potable son prioridades inmediatas en la configuración de un campo de refugiados, ya que permiten que las personas desplazadas tengan un lugar seguro donde permanecer, y además de hidratarse, puedan acceder a saneamiento e higiene, evitando contraer o esparcir enfermedades transmitidas por el agua (UHNCR, 2020, pp. 24-26), (Terrón-López, 2020, pág. 4817).

Los desafíos logísticos inherentes a los campos de refugiados, a menudo ubicados en áreas remotas o inestables, requieren de una planificación cuidadosa teniendo en cuenta los recursos disponibles y la planificación geográfica o espacial. Dicha planificación juega un papel crucial en la prevención y atenuación de posibles problemas de convivencia, y, además, en el diseño y mantenimiento de logística. Sin embargo, esta planificación es a veces complicada por la naturaleza cambiante de la situación política los campos de refugiados, que deben adaptarse constantemente a nuevas oleadas de refugiados, y a las condiciones cambiantes sobre un terreno, muchas veces expuesto a climatología adversa y a recursos escasos (Stevenson, 2011, págs. 125-138).

Otro elemento de la logística del campo es la atención médica y psicológica, que debe ser accesible y suficiente para tratar tanto enfermedades comunes como emergencias médicas más graves (Hadafi, 2020, págs. 47-49).

Los campos de refugiados se enfrentan a desafíos sociales y políticos, como, por ejemplo, la integración de diversas comunidades étnicas y culturales, que mal gestionados pueden tensionar la convivencia e incluso tener impactos directos en la logística del campo. Dichas tensiones sociales pueden surgir cuando los recursos son limitados, o cuando las normas culturales y sociales difieren, esto hace necesario implantar, además, una logística de seguridad involucrando en la medida de lo posible a las comunidades locales (Center, 2024), (IZA, 2023).

El suministro de energía es un componente logístico esencial, ya que es la base que permite el funcionamiento de los otros aspectos críticos de la logística en los campos de refugiados. La energía es indispensable, ya no solo para la iluminación, sino para la distribución de agua, para la calefacción, para el funcionamiento de instalaciones sanitarias, para la preparación y conservación de alimentos; y para las comunicaciones. La falta de acceso a fuentes de energía sostenibles, ya sean renovables o no, puede, además, incrementar la vulnerabilidad de los refugiados, obligándolos, por ejemplo, a recurrir a métodos peligrosos o insalubres para obtener energía, como la quema de madera o residuos para cocinar o calentarse. Estos métodos no solo suponen un riesgo para la salud y seguridad de los refugiados, sino que también pueden tener un impacto ambiental considerable, como la deforestación y el deterioro de las tierras circundantes, lo que a su vez podría generar conflictos con las comunidades locales (Sovacool, 2012, págs. 17-19), (Salehin, 2011, págs. 9-14).



A partir de lo anterior, se puede concluir que los refugios destinados a los refugiados deben cumplir con unos criterios de seguridad, resistencia, y habitabilidad, teniendo que ser adaptables a las condiciones sociales y climáticas del entorno. Además, la seguridad de estos refugios es crucial, ya que deben proteger a los refugiados no solo de las condiciones meteorológicas adversas, sino también de posibles amenazas externas e incluso internas. Es importante destacar que la calidad y ubicación de los refugios tienen un impacto directo en la salud física y mental de los refugiados, lo que los convierte en un factor clave para la estabilidad y el bienestar general dentro del campamento (Corsellis, 2005, págs. 33-36).

Para cuantificar e implementar las necesidades logísticas, al ser estas muy diversas, y abarcar diferentes aspectos, existen manuales que son guía de recomendaciones y preservan unos mínimos en la ayuda humanitaria. Por ejemplo, el manual Esfera del proyecto Humanitario Esfera. La idea de estos manuales es ayudar a sintetizar la información de necesidades en caso de emergencias, preservando siempre la dignidad y derechos de las personas. Ejemplos serían la cantidad de agua potable a proporcionar por día y persona (basado a su vez en la recomendación de la organización mundial de la salud, OMS), el espacio mínimo del refugio, etc (Nappi, 2015, págs. 2421-2436).

Para desarrollar la logística de un campo de refugiados, es esencial considerar la dimensión del campo, incluyendo su tamaño y contexto geográfico y social. Este dimensionamiento permite planificar adecuadamente la construcción y mantenimiento de viviendas temporales, como tiendas de campaña y refugios modulares. Además, el diseño debe ser escalable por los cambios a los que está sometido el campo de refugiados, e incluir espacios comunitarios como cocinas, áreas de juego, escuelas, centros de reunión y centros de salud para promover la cohesión social y el bienestar psicológico de los refugiados o desplazados (Akkaya, 2017).

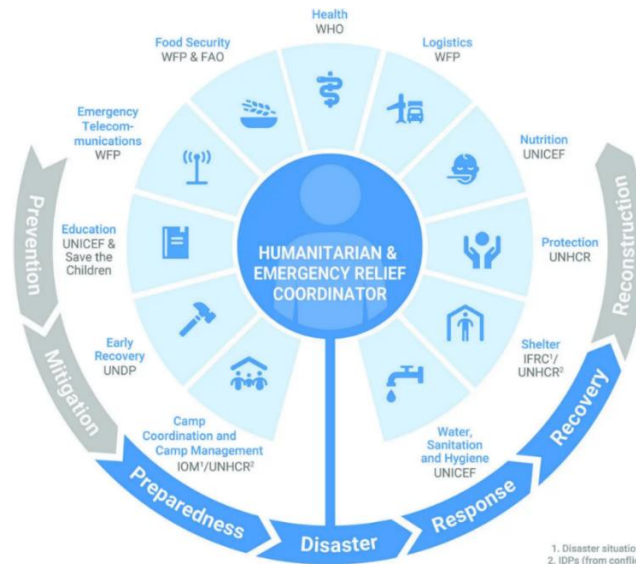
En la logística de un campo de refugiados se debe garantizar la presencia de agua y realizar la gestión de aguas residuales (Sphere Association, 2018, págs. 101-177). El acceso a agua potable y a infraestructuras de saneamiento son esenciales para prevenir enfermedades y asegurar condiciones de vida dignas y se estudiarán más adelante en el presente trabajo.

La gestión comunitaria en los campos de refugiados es crucial para la sostenibilidad de la respuesta humanitaria y la logística. La participación de los refugiados en la toma de decisiones y en la provisión de servicios fortalece su resiliencia y empoderamiento, facilita la evaluación de necesidades y mejora la eficiencia en el abastecimiento. Por ello, es fundamental crear espacios de encuentro comunitario, como escuelas y programas de formación cívica e higiene. (*Inter-Agency Standing Committee* ((IASC), 2007, págs. 30-45).

La logística de emergencia es, en definitiva, un componente crítico de la gestión de las crisis humanitarias, y por tanto, requiere de una planificación meticulosa y una ejecución efectiva (Martin Christopher, 2011).

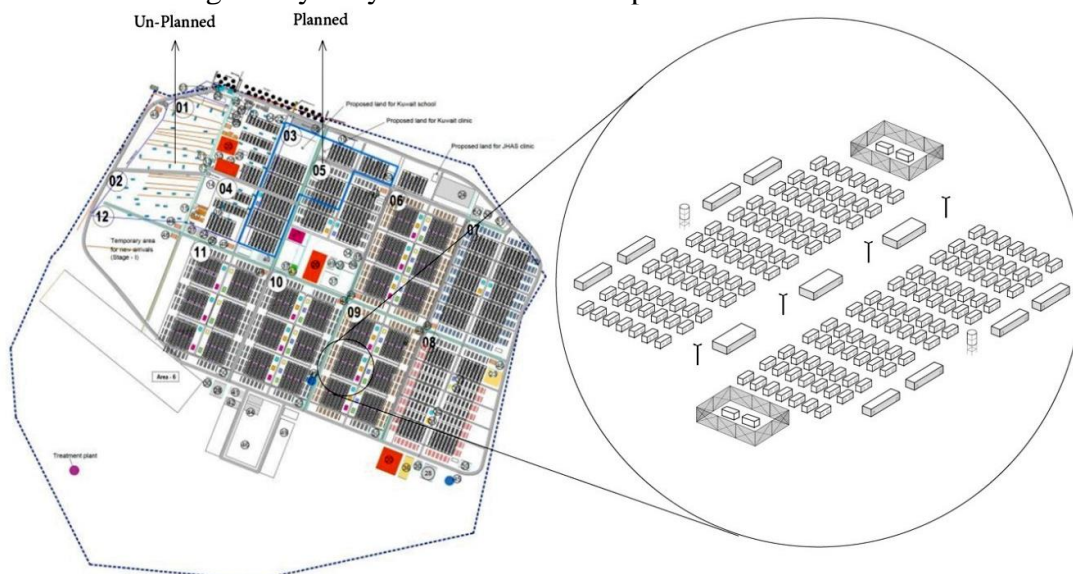
Con relación a lo expresado en el párrafo anterior se adjunta la siguiente imagen. En ella se muestra cómo está dividida la logística de la acción humanitaria (clústeres). Estos permiten abordar la logística de emergencias de una manera más adecuada. Este mecanismo de coordinación, utilizado por la ONU y otras organizaciones humanitarias, organiza a los actores humanitarios en sectores centrales, como el agua, la salud y la seguridad alimentaria. El objetivo es mejorar la eficiencia y eficacia de la respuesta, evitar la duplicación y garantizar que las necesidades de las personas afectadas se

satisfagan de manera oportuna y adecuada. Todo lo relacionado con el agua es llevado por UNICEF, aunque in situ puede delegar la acción a otras ONG (unicef, s.f.),



**Ilustración 2.** Sistemas de clústeres junto con las diferentes fases de la emergencia permiten diseñar la logística (OCHA, s.f.).

A continuación, en la ilustración 12, se muestra un esquema unitario del campo de refugiados de Za'atari. Este campo de refugiados es resultado de la guerra civil en Siria. Con el tiempo, Za'atari ha crecido en respuesta al aumento de su población. Ha podido crecer ordenadamente gracias a una planificación espacial y temporal efectiva, consecuencia de una logística y ayuda humanitaria adecuada (ACNUR, Diez datos sobre el campamento de refugiados de Za'atari a diez años de su apertura, 2022), que tiene en cuenta el ordenamiento y distribución espacial a partir de zonas que se replican. En concreto, en la imagen se muestra la unidad básica de ordenamiento y cómo se va escalando mientras la logística y la ayuda humanitaria lo permitan.



**Ilustración 3.** Se muestra la unidad básica de ordenamiento y cómo se va escalando mientras la logística y la ayuda humanitaria lo permitan. (Ayham Dalal, 2018).

A su vez, en la imagen 4, se observa que ese mismo campo de refugiados, en otro momento dado, va perdiendo orden con el paso del tiempo. Esto se puede achacar en parte a un déficit en la ayuda humanitaria, que incluye carencias o fallos en la logística, y que obliga o permite a los refugiados, generar sus propias dinámicas de supervivencia en el campo.



*Ilustración 4. Se muestra como el campo de refugiados de Zaatari va desestabilizándose a medida que los refugiados generan sus propias dinámicas diarias sin seguir un orden al no recibir ayuda humanitaria que permita cubrir necesidades básicas. (Ayham Dalal, 2018).*

## 1.2 Situación de los refugiados en el mundo

Los refugiados son resultado de desplazamientos forzados debido a conflictos, persecuciones, desastres naturales y crisis económicas. Aunque los campos de refugiados están destinados a ser una solución temporal, a menudo enfrentan problemas extremos como sobrepoblación, deficiencias en infraestructura, y desafíos en el acceso a agua, alimentos, seguridad y salud. Además, los países de acogida pueden enfrentar dificultades en la integración social de los refugiados, incluyendo empleo, educación y derechos humanos. La asistencia humanitaria internacional y las políticas migratorias son clave para abordar estos desafíos, pero las soluciones duraderas deben ir más allá de mantener campos de refugiados, buscando formas que permitan a los refugiados llevar una vida digna y plena (ACNUR, 2023).

Además, muchos campos de refugiados se encuentran en zonas que obligan a los refugiados a enfrentar dificultades relacionadas con las condiciones climáticas, geográficas políticas. Sumado a lo anterior, los campos de refugiados tienden a extenderse en el tiempo, superando con creces su idea de ser una solución temporal (Coniglio, 2022).

Según (ACNUR), a finales de 2023 había aproximadamente 117,3 millones de personas (ACNUR, 2023) que habían sido forzadas a desplazarse debido a persecuciones, conflictos, violencia y violaciones de derechos humanos<sup>1</sup>. Los conflictos armados son la principal causa de desplazamiento forzoso. Es decir, casi un 1,5% por ciento de la población está en dicha situación. Esta cifra, por sí



misma, habla de una tragedia humanitaria sin precedentes, que exige de una respuesta urgente y sostenida. Quisiera indicar la diferencia existente entre persona refugiada y desplazada interna. Según (BARAHONA, 2003) si una persona ante el desplazamiento ha cruzado fronteras externas, sería refugiada, en caso contrario, sería desplazada. En la imagen 5 muestro algunos datos sobre lo mencionado y la tendencia al alza, tal y como mostré en la imagen anterior.

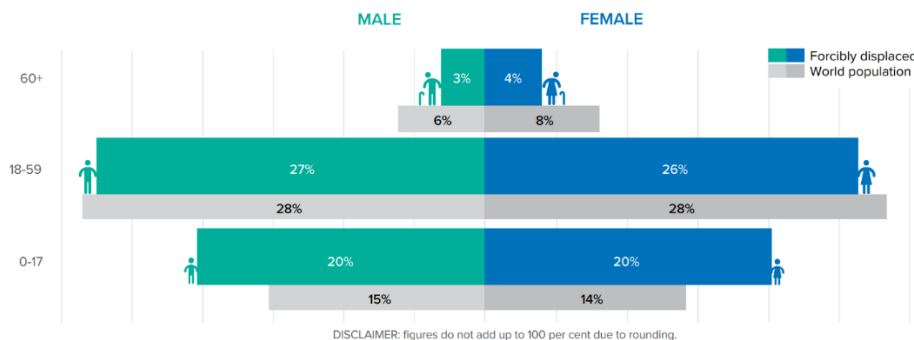


*Ilustración 5. Se muestran datos sobre la situación de refugiados en el mundo por categorías (ACNUR, 2023, pág. 2).*

La imagen siguiente, ilustra la demografía de los campos de refugiados en comparación con la demografía mundial. Casi la mitad de los refugiados son menores de 18 años, ya que los conflictos suelen ocurrir en regiones con altas tasas de natalidad, como África y el Medio Oriente. Estos jóvenes, al huir con sus familias, contribuyen a una población refugiada significativamente más joven que la población mundial, que presenta tasas de natalidad en disminución y una población envejecida, especialmente en países desarrollados (ACNUR), (ACNUR, 2023), (Krafft, 2018).

#### DEMOGRAPHICS OF PEOPLE WHO HAVE BEEN FORCIBLY DISPLACED END-2023

Children account for 30 per cent of the world's population, but 40 per cent of all forcibly displaced people.\*



*Ilustración 6. Clasificación de distintas tipologías de refugiados y su representación relativa cuantitativa (UNHCR-ACNUR, 2023, pág. 3).*

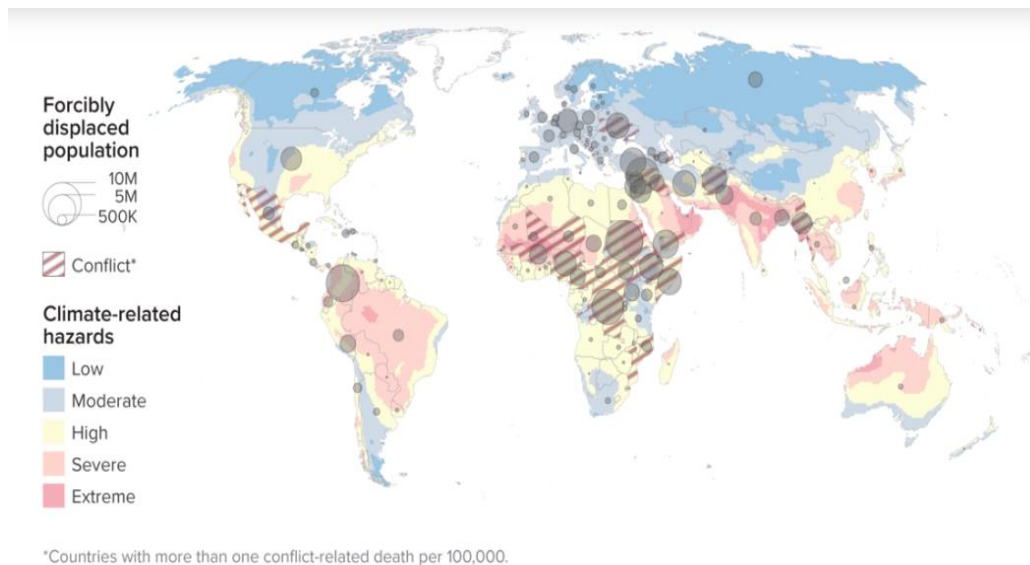
Otra característica que define también la situación de los refugiados (ACNUR, 2023, pág. 23) es el contexto del acceso a agua potable. Su deficiencia o escasez impacta en la estabilidad de los campos de refugiados, al aumentar la vulnerabilidad ante ciertas enfermedades (Esfera, 2018, pág. 30). La



falta de una infraestructura adecuada y el rápido crecimiento poblacional en estos campos estresan el acceso al agua potable. Además, la ausencia de saneamiento contamina el agua, elevando el riesgo de contraer enfermedades como diarrea y cólera (Esfera, 2018, pág. 45). La búsqueda de agua potable puede exponer a refugiados, especialmente a mujeres y niños, a violencia y conflictos, además de afectar el tiempo dedicado a la educación de las mujeres y niñas, quienes son frecuentemente responsables de recolectarla (R.Ahmed, 2008).

En definitiva, el acceso insuficiente o inadecuado al agua potable muchas veces se entrelaza con las crisis humanitarias (incluso puede ser el detonante de la crisis), y si ambas no se gestionan adecuadamente, se retroalimentan, especialmente en situaciones de emergencia (UHNCR, 2020, pp. 20,45-46,50-51), 65-66, 77; (Situación de Refugiados en Uganda, 2024, págs. 29-30,48-49.90-91) condicionando la situación de los refugiados.

Según el informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático IPCC, (IPCC, 2021), la situación de los refugiados se agrava por las consecuencias del cambio climático antropogénico. La alteración de los patrones climáticos y el aumento de eventos extremos, como sequías, inundaciones, y el incremento del nivel del mar impactan sobre el acceso a agua potable. Además, estos afectan negativamente a la agricultura y ganadería, sustento de muchas comunidades, obligándolas a abandonar sus hogares, y exacerbando, por tanto, la crisis global de refugiados. En la ilustración 7 se ilustra un mapa global que desarrolla lo mencionado.



**Ilustración 7.** Imagen que muestra la población desplazada de manera forzada y el impacto del cambio climático sobre dichos desplazamientos. La mayoría de las personas que se desplazan debido a los efectos adversos del cambio climático y a desastres permanecen dentro de su propio país, aunque en algunos casos huyen y cruzan fronteras. (UNHCR-ACNUR, 2023, pág. 24).

De la ilustración anterior, se puede afirmar que las regiones más vulnerables al cambio climático, que ya albergan de por sí numerosos refugiados, se enfrentan a una situación de mayor estrés por el acceso a los recursos hídricos, exacerbando aún más los conflictos origen de desplazamientos. Además, la degradación ambiental y la desertificación reducirán la capacidad de las tierras para sostener poblaciones, lo que probablemente generará nuevos flujos migratorios (UN, 2019). Los estudios de Barnett y Adger (Barnett, 2007) y Kelman (Kelman, 2014) destacan cómo el cambio climático actúa como un multiplicador de riesgos en contextos de conflicto y desplazamiento.

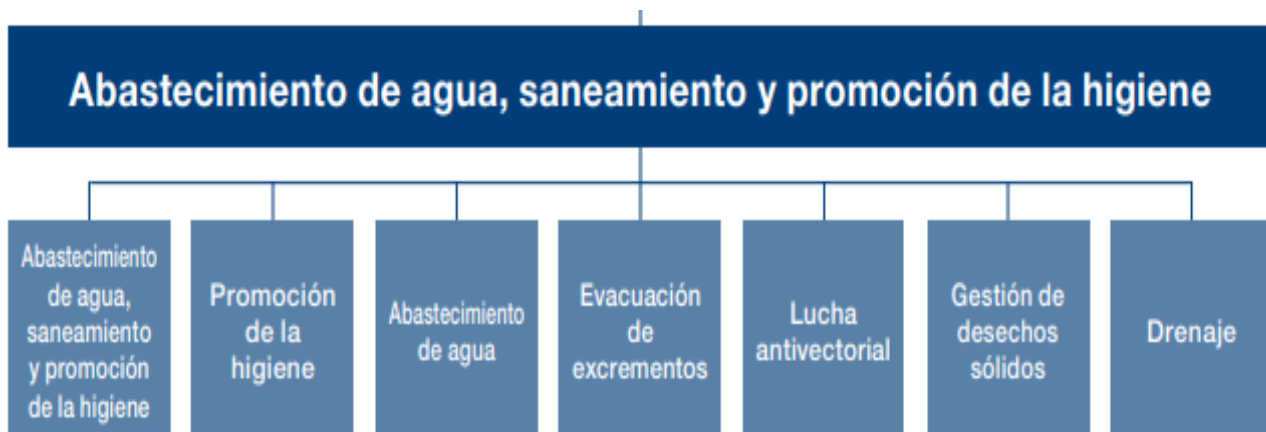


### 1.3 WASH en situaciones de emergencia humanitaria

WASH es el acrónimo en inglés que hace referencia a "agua, saneamiento e higiene", es decir: Water, Sanitation and Hygiene (WASH). El concepto de WASH (*Water, Sanitation, and Hygiene*) se refiere a una estrategia, que se basa en asumir un enfoque integral de todo lo que tenga que ver con el abastecimiento y gestión del agua, el saneamiento usándola, y la higiene personal y colectiva teniendo en cuenta el agua. Es decir, WASH busca tratar todo lo anterior de forma integrada, como un todo, y no de forma separada y es un cambio de perspectiva que tiene una visión transversal y universal destinada a asegurar el acceso a agua potable, instalaciones de saneamiento adecuadas y prácticas higiénicas a cualquier población, y eso incluye la población de un campo de refugiados.

Según la OMS, (Organization, 2018), el enfoque WASH se compone de tres elementos fundamentales que son esenciales para la salud pública: agua, saneamiento e higiene. El componente de agua (*Water*) se enfoca en garantizar el acceso a agua potable segura y suficiente para beber, cocinar y la higiene personal. El saneamiento (*Sanitation*) implica la provisión de instalaciones sanitarias adecuadas, como baños, letrinas y sistemas de gestión de residuos, para evitar la contaminación ambiental y disminuir la propagación de enfermedades vía hídrica. Por último, la higiene (*Hygiene*) se centra en la promoción de prácticas de higiene efectivas personales y colectivas, como el lavado de manos con jabón, buscando reducir o prevenir la transmisión de enfermedades relacionadas con la higiene.

Un suministro adecuado de agua potable y de servicios de saneamiento, reduce significativamente el riesgo de enfermedades diarreicas, infecciones respiratorias y otras enfermedades transmitidas vía hídrica (Adam Biran 1, 2012), este es un ejemplo de estudio que justifica la implantación de WASH.



**Ilustración 8.** Infografía que muestra la importancia del concepto WASH, y como la gestión de los actores involucrados exige de una acción conjunta al estar interrelacionados (Esfera, 2018).

La primera vez que se usó el término WASH en el contexto de la salud pública fue en el año 1988 (Donald Cullivan, 1988). Durante las décadas de 1980 y 1990, el concepto de WASH comenzó a consolidarse en respuesta a las crisis humanitarias y los desafíos persistentes en el suministro de agua y saneamiento en países en desarrollo. Organizaciones como el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, UNICEF, y la OMS, desempeñaron roles fundamentales en la promoción de la importancia del acceso a agua potable y saneamiento para la salud pública, abordando estos temas de manera conjunta. Esta evolución fue impulsada en parte por las lecciones aprendidas durante la llamada Década Internacional del Suministro de Agua Potable y Saneamiento (1981-1990), que reveló la necesidad de integrar la educación sobre higiene junto con la provisión de servicios de agua



y saneamiento, para mejorar la salud y la productividad en comunidades vulnerables (UNICEF & WHO. (2021). Progress on WASH in health care facilities 2000–2021: special focus on WASH and infection prevention and control. , s.f., pág. 7), (World Health Organization, 2023).

En la década de 2000, la Iniciativa de Agua y Saneamiento (WASH) fue formalizada en el marco de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) de las Naciones Unidas. En 2002, la OMS y UNICEF lanzaron el "Programa Conjunto de Monitoreo de Abastecimiento de Agua y Saneamiento" (JMP), con el objetivo de monitorear el progreso hacia el cumplimiento de los ODM relacionados con el acceso al agua y saneamiento. Este programa se convirtió en una herramienta esencial para evaluar y comparar el avance global en materia de agua, saneamiento e higiene, incluyendo el impacto de estos en entornos escolares (WHO U. &., 2018, pág. 14).

En concreto, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que pretende fijar nuevos paradigmas para el desarrollo humano mundial, asume que el agua, el saneamiento y la higiene (WASH), son elementos centrales de esta agenda. En concreto, establece un objetivo preciso (ODS 6) (Desarrollo., s.f.) que prevé un acceso universal, sostenible y equitativo al agua potable; el saneamiento y la higiene; así como la eliminación de la defecación al aire libre de aquí a 2030.

Además, WASH también contribuye a la consecución de muchos otros objetivos, incluidos los relacionados con la nutrición, la salud, la educación, la pobreza y el crecimiento económico, los servicios urbanos, la igualdad de género, la resiliencia y el cambio climático (UNICEF, Estrategia de Agua, saneamiento e higiene (2016-2030), 2017).

### 1.3.1 WASH en Campos de Refugiados

En los campos de refugiados, la implementación de WASH se centra (UNICEF, Estrategia de Agua, saneamiento e higiene (2016-2030), 2017) en identificar, tanto las necesidades inmediatas como las de largo plazo, y desarrollar infraestructuras que sean sostenibles y estén adaptadas al contexto local del campo de refugiados. Organizaciones como ACNUR, el Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR) y múltiples ONG implementan programas in situ WASH para mejorar las condiciones de vida y prevenir enfermedades en los campos de refugiados (ACNUR, 2023, pág. 45), ((CICR), 2022, págs. 12-14) ; aunque el clúster de WASH lo dirige UNICEF.

Para asegurar que los sistemas WASH sean funcionales durante toda la emergencia es esencial que todos los ejes que lo conforman estén bien coordinados, y eso incluye, a los actores locales (comunidades, ONGs, etc.). Además, se hace imprescindible realizar evaluaciones rápidas, seguidas de análisis más exhaustivos, que permitan tomar decisiones para poder mejorar la eficiencia y ajustar las estrategias de intervención ((IOM)., 2023, pág. 13).

Por ejemplo, habría que realizar una evaluación previa, que permita diseñar un sistema de abastecimiento de agua que garantice al menos 15-20 litros por persona y por día, según las recomendaciones de la OMS o el Manual Esfera (Esfera, 2018, pág. 121).

La planificación del saneamiento también es crucial. En concreto, y en ese sentido, por ejemplo, se han de prever la instalación de letrinas o baños comunitarios, asegurando al menos, una letrina por cada 20 personas, y garantizando, que las instalaciones estén separadas por género (Sphere Association, 2018, pág. 105). En cuanto a las letrinas, se suelen utilizar letrinas simples, letrinas de fosa y sistemas de compostaje, dependiendo del contexto y los recursos disponibles. En el campo de



refugiados de Kakuma en Kenia, por ejemplo, se utilizan principalmente letrinas de fosa y sistemas de saneamiento mejorados (ACNUR, 2023).

Además, se debe implementar un plan que abarque la gestión de residuos sólidos y el control de posibles vectores transmisores para prevenir la propagación de enfermedades vía hídrica. En el campo de refugiados de Dadaab en Kenia, por ejemplo, se ha implementado un sistema de recolección de basura y tratamiento de residuos para minimizar el impacto ambiental (ACNUR, 2023).

La promoción de la higiene ha de abarcar también la educación personal y comunitaria. En ese sentido se ha de fomentar: la distribución de kits de higiene personales, el uso de retretes, la instalación de puntos de lavado de manos accesibles, sensibilizar a la comunidad sobre la importancia del lavado de manos, usar adecuadamente las letrinas y manipular de forma segura de alimentos para prevenir enfermedades (UNICEF, Agua, saneamiento e higiene (WASH), pág. 12), (UNHCR, Agua, saneamiento e higiene en situaciones de emergencias manual, 2024, pág. 35), (Sphere Association, 2018, págs. 116,117).

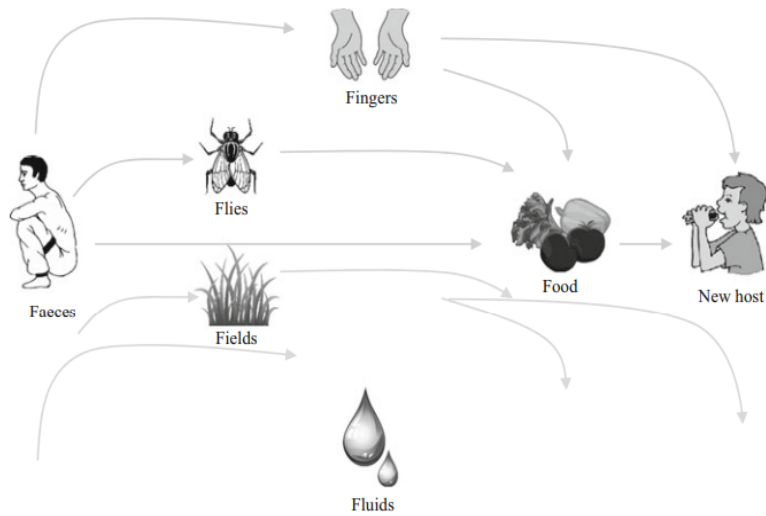
Por ejemplo, en el campo de refugiados de Cox's Bazar en Bangladesh (ACNUR, 2019), se realizan talleres y campañas para enseñar prácticas de higiene y prevenir la propagación de enfermedades (UNICEF, Estrategia de Agua, saneamiento e higiene (2016-2030), 2017). Como apoyo a la higiene, también se distribuyen kits de higiene personal que incluyen productos como jabón, desinfectantes y artículos de higiene menstrual (UNHCR, Agua, saneamiento e higiene en situaciones de emergencias manual, 2024).

El monitoreo continuo es una parte integral de la gestión e implementación de WASH en un campo de refugiados. Esto incluye la evaluación constante: de la calidad del agua mediante análisis, el uso de las instalaciones sanitarias y las prácticas de higiene de la comunidad (UNICEF, UNICEF Strategy for Water, Sanitation and Hygiene (2016-2030). United Nations Children's Fund., 2016).

Para complementar dicho monitoreo las encuestas regulares y la recolección de datos de salud pública son esenciales, ya que permiten valorar el impacto de las intervenciones, y, por ejemplo, medir la reducción de enfermedades, la satisfacción de la población y valorar la sostenibilidad de las soluciones implementadas (UNICEF, Agua, saneamiento e higiene (WASH) Unicef, s.f.).

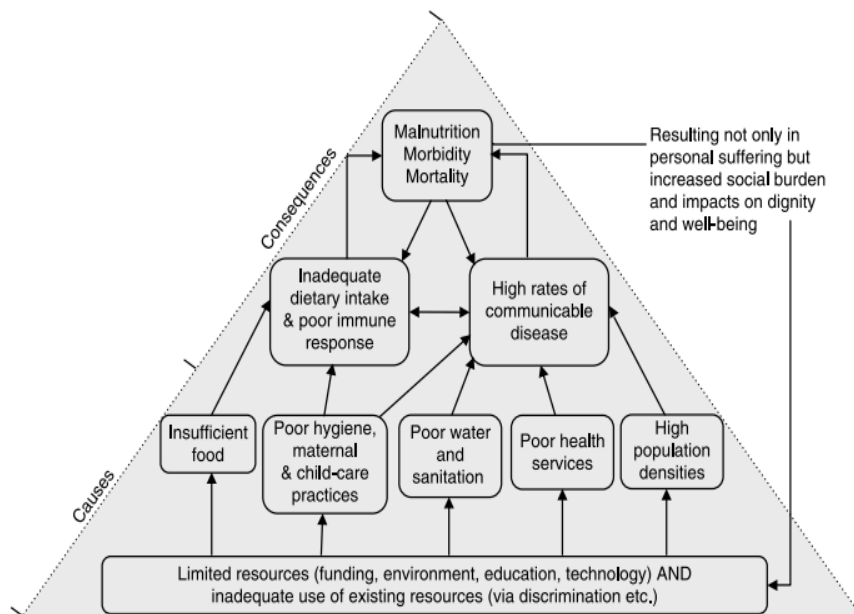
Para asegurar la sostenibilidad a largo plazo de WASH, es esencial capacitar a la comunidad refugiada en la gestión y mantenimiento de las instalaciones, formando, por ejemplo, comités locales. (Sphere Association, 2018, págs. 101-177).

Por último, es importante mencionar, que para poder implementar WASH es necesario hacer uso de la tecnología que proporcione y sustente, por ejemplo, todos los elementos de ingeniería hidráulica : tuberías, bombas manuales, bombas diésel, bombas eléctricas, bombas de inmersión, válvulas, tuberías, pozos, camiones cisterna, etc. (Sphere Association, 2018, págs. 101-177).



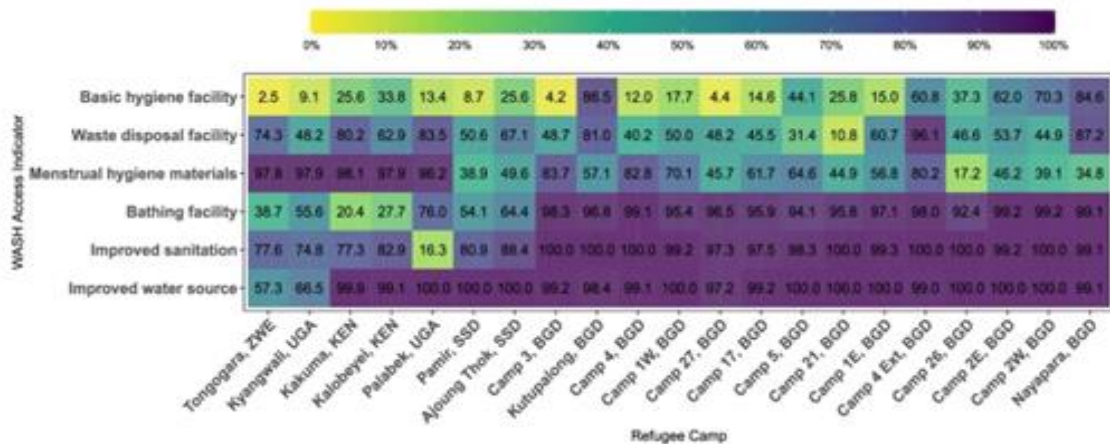
**Fig. 4** Fecal-oral route for transmission of diseases, showing the importance of personal hygiene (requiring a sufficient quantity of safe water). Scheme from the authors

*Ilustración 9.* Se muestra la ruta y vía de transmisión de enfermedades vía higiene e hídrica, de ahí la importancia de la higiene personal, y, por tanto, la importancia del acceso al agua en condiciones óptimas (Vivar, 2005).



*Ilustración 10.* Esquema de la relación multifactorial y bidireccional de las causas y consecuencias de los problemas en el suministro de agua, saneamiento e higiene junto con los aspectos nutricionales y de salud (Vivar, 2005).

En la ilustración 11, se muestran los porcentajes sobre el acceso o implementación a WASH en una serie de campos de refugiados (21) en diferentes países situados en diferentes continentes, que ayuda a visualizar los logros de su implantación visualmente.



*Ilustración 11. En el eje Y hay una serie de indicadores WASH, mientras que en el eje X se muestran los campamentos de refugiados. Con la gama de colores (de menor a mayor intensidad) se visualiza el porcentaje de implementación de WASH según el indicador que se considere (Vivar, 2005).*

## 2. Abastecimiento de agua en emergencias

El abastecimiento de agua en emergencias como el proceso de proporcionar agua potable en situaciones de crisis. Esto incluye la implementación de tecnologías y métodos que aseguren el suministro continuo de agua limpia y segura, minimizando el riesgo de enfermedades relacionadas con el agua y mejorando la calidad de vida de las personas en contextos de emergencia (Loo, 2012, págs. 3125-3151).

Una emergencia implica que el abastecimiento de agua no se puede realizar en muchos casos por canales usuales (Manuel Ortega de Miguel, 2010).

Es por esto, que existen protocolos y manuales que dan unas pautas sobre mínimos que preserven la dignidad de las personas. Por ejemplo, se recomienda proporcionar al menos 15 litros de agua potable por persona al día según las directrices del manual Esfera (Esfera, 2018). De hecho, el suministro inicial no debería ser nunca menor a dicha cifra porque supondría un grave problema de vulneración de derechos, y posiblemente podría, además, acarrear problemas de salud pública, por lo que en general, se realizan esfuerzos para superar esta meta. En ese sentido, por ejemplo, en el campo de refugiados de Zaatari en Jordania, la distribución alcanza aproximadamente 20 litros por persona al día (Meneses, 2017).

El proceso o ciclo de abastecimiento de agua (Beecher, 1989) comprende varias etapas: la identificación y uso de los recursos de agua bruta disponibles, la captación de agua bruta, el tratamiento del agua bruta para que sea apta para el consumo (potabilización), el almacenamiento y luego, su posterior distribución. La planificación y ejecución efectiva de todas estas etapas de manera conjunta, es esencial para poder proporcionar un suministro de agua seguro, estable y suficiente, de tal manera que satisfaga las necesidades básicas de la población.

En el ciclo del abastecimiento del agua, un concepto clave a tener en cuenta es el de pH, es por ello que se van a dedicar unas líneas a ello (Dewangan, 2023, págs. 756-759). El pH del agua es una medida que indica su acidez o alcalinidad en una escala de 0 a 14, donde un valor de 7 es neutro, valores menores de 7 indican acidez, y valores mayores de 7 indican alcalinidad. Este parámetro es



esencial para determinar la calidad del agua, ya que puede influir en la efectividad de los tratamientos a adoptar para potabilizar el agua, y además, en su impacto sobre la salud y el medio ambiente. Durante el tratamiento inicial del agua, el pH se puede ajustar para optimizar los procesos de coagulación y floculación, ya que un pH adecuado es esencial para la efectividad de los coagulantes (Oturán, 2014). Posteriormente, también se debe controlar durante la desinfección, ya que la eficacia de desinfectantes usuales, como el cloro y el ozono dependen del pH del agua. Por ejemplo, si el pH es demasiado alto o bajo, la eficacia de estos desinfectantes puede disminuir, comprometiendo la eliminación de patógenos (Hand, 2021). Y antes de distribuir el agua (ya potable), se ajusta el pH para minimizar la corrosión en las tuberías y otros componentes del sistema de distribución, ya que un pH inadecuado puede causar corrosión y la consecuente liberación de metales pesados como plomo y cobre en el agua potable (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 2011, pp. 247-252). A lo largo del sistema de distribución, se debe monitorear el pH de manera periódica para mantenerlo dentro de límites aceptables ((EPA), 2017). En situaciones de emergencia o en zonas con infraestructuras relacionadas con el agua envejecidas o en mal estado, se verifica el pH en los puntos de consumo para garantizar que el agua que llega al usuario final es segura (Coerver, 2021, pp. 182-187).

## 2.1 Recursos de agua disponibles

Las etapas que comprenden todo lo relacionado con los recursos de agua disponible son la identificación y uso de los recursos de agua bruta disponibles, y la posterior captación de agua bruta.

### **Identificación y uso de los recursos de agua bruta disponibles**

La identificación y uso de los recursos de agua bruta disponibles tiene como objetivo principal valorar las fuentes de agua accesibles, para a posteriori, asegurar un suministro adecuado y sostenible de agua para sus diferentes usos, considerando la disponibilidad y las características de las fuentes de agua en un área específica. Los tipos de recursos hídricos disponibles en un campo de *refugiados* (UNHCR, UNHCR.org, 2020) pueden variar según la ubicación geográfica, las características del entorno y los esfuerzos y recursos de planificación para garantizar el suministro de agua.

Antes de desarrollar la primera fase habría que definir qué es el agua bruta. El agua bruta es un término utilizado en el ciclo de abastecimiento de agua para referirse al agua que se encuentra en su estado natural, es decir, sin haber pasado por ningún proceso de tratamiento o purificación. Este tipo de agua se encuentra en fuentes naturales como ríos, lagos, embalses, pozos subterráneos, y otras masas de agua, ya sean superficiales o subterráneas.

Los recursos de agua en un campo de refugiados, como he comentado antes, pueden provenir, por tanto, de diversas fuentes, dependiendo de la ubicación y disponibilidad (German WASH Network, 2021, pp. 28-38). Estas pueden ser:

- Aguas superficiales como ríos, lagos o estanques, que suelen ser más accesibles, pero requieren de un posterior tratamiento más intensivo debido a su mayor exposición al medio, y por tanto tienen un mayor riesgo de contaminación. Dentro de las aguas superficiales se incluye también el agua de lluvia, que puede ser recolectada y almacenada, aunque su uso dependerá de las condiciones climáticas y la implementación de sistemas de recolección efectivos.



- Aguas subterráneas, donde será necesaria información de un análisis geohidrológico previo. Son extraídas mediante pozos o manantiales profundos (más de quince metros de profundidad). Suelen ser más seguras en cuanto a contaminación, al estar el agua menos expuesta a agentes externos, pero, en general, requieren de la instalación de una infraestructura adecuada para la extracción y bombeo. Una de las fuentes subterráneas más usuales son los acuíferos. Los acuíferos pueden proporcionar un suministro de agua sostenible. Sin embargo, se debe monitorear la calidad (aguas salobres) y la tasa de recarga para no afectar a su propia naturaleza, y todos los ecosistemas que dependen de él.

## Captación del Agua

La captación del agua bruta es la siguiente fase que se desarrolla tras el análisis de fuentes disponibles. Dependiendo del tipo de fuente de agua se podrían usar los siguientes métodos (German WASH Network, 2021, pp. 54-72):

- Pozos y perforaciones: Estos se utilizan para acceder a aguas subterráneas. Los pozos pueden ser perforados manualmente o con maquinaria pesada, normalmente propulsada por diésel, dependiendo de la profundidad del acuífero. Por tanto, los pozos profundos suelen ser más costosos, al necesitar de más energía y tecnología, pero a cambio, en general ofrecen una fuente de agua de mejor calidad, y se hacen fundamentales especialmente en áreas con escasez de agua superficial.
- Captación de aguas superficiales: Para la captación de agua de ríos, lagos o embalses, se pueden emplear sistemas de bombeo o aprovechar la gravedad (diferencia de cota existente) para transportar el agua hasta los puntos de tratamiento. Este método es efectivo en escenarios donde las fuentes de agua superficial son abundantes y accesibles, pero siempre requiere de una estrategia de tratamiento adecuada para potabilizar el agua bruta.

En cuanto a los pozos podemos decir que hay básicamente dos tipos:

- Pozos perforados: Se perforan para extraer el agua subterránea. La calidad final del agua extraída dependerá de la geología local y la profundidad del pozo.
- Pozos a cielo abierto o abiertos: En algunos casos, especialmente en áreas donde el nivel freático es alto, se pueden utilizar pozos a cielo abierto para acceder al agua subterránea.

Los pozos a cielo abiertos son menos profundos (hasta 15 metros), mientras que los pozos profundos pueden alcanzar grandes profundidades. Se dice que los pozos abiertos se excavan, mientras que los profundos se perforan. Los pozos abiertos, por su menor profundidad, suelen estar revestidos con materiales de construcción comunes, mientras que los pozos profundos, en general, usan tuberías de materiales más especializados, y, por tanto, más costosos.

Añadir, que, una vez elegida la fuente de agua, hay que protegerla, para evitar su contaminación, uso indebido y variaciones en el caudal. Un esquema que ayuda a visualizar todo lo anteriormente comentado en cuanto a fuentes de agua se muestra en la ilustración 12.

## FUENTES DE AGUA DISPONIBLES



**Ilustración 12.** Esquema de las diferentes fuentes de agua disponible, el análisis de las fuentes de agua disponibles es fundamental, y de ella dependen las demás.

## 2.2 Infraestructuras necesarias

Este apartado está destinado a mostrar cuáles son las infraestructuras asociadas a cada etapa del ciclo del abastecimiento del agua. En ese sentido hay que señalar que la infraestructura necesaria varía (Cedrick Gijsbertsen, 2017), (UNHCR, UNHCR Water Manual for Refugee Situations, 1992), según la ubicación, la orografía, la topografía y la disponibilidad de recursos hídricos. Para visualizar este hecho, se explicará cada fase del abastecimiento del agua, y las las infraestructuras asociadas.

### Captación

En cuanto a las infraestructuras necesarias en la fase de captación (German WASH Network, 2021, pp. 74-94), en el caso de aguas subterráneas, como he comentado antes, se hace necesario la construcción de pozos, que en el caso de pozos profundos lleva asociada la necesidad de bombas y tuberías.

En el caso de las bombas de extracción, decir, que en general, son equipos que necesitan de aporte energético ya sea humano (manuales) o externo (motorizadas). Son elementos que permiten mover, desplazar y elevar el agua, por ejemplo, de zonas más profundas a zonas más elevadas usando, en general, las tuberías como guía.

En (Coerver, 2021, pp. 74-94) y en (Wikiwater, s.f.) se detallan varios tipos de bombas utilizadas para la extracción de agua en diferentes contextos, y que pueden usarse en situaciones de emergencia. En general pueden ser manuales y motorizadas, y dentro de estas, según las tecnologías que usen pueden ser más apropiadas para mover grandes volúmenes o pequeños volúmenes, y a mayor o menor profundidad, lo que determinará su uso para pozos someros o profundos, por ejemplo. En general las manuales, son las más económicas.



**Ilustración 13.** Esquema de la bomba de extracción Mark III, que puede ser manual o motorizada, y puede bombear hasta una profundidad de 50 metros, es evolución de la Mark II, una bomba manual de bombeo muy extendida (SK, s.f.).

Cada tipo de bomba, por tanto, tiene, aplicaciones específicas dependiendo de factores como la profundidad del agua, la cantidad requerida, su acceso a energía externa o no, y las condiciones locales (Bank, 2012).

A continuación, se desarrollan las siguientes fases del ciclo del abastecimiento del agua . Estas fases, en concreto, están dentro de lo que es el tratamiento del agua, para que ésta sea apta para el consumo.

### **Tratamiento del agua**

El tratamiento del agua, como tal, se divide en dos fases en cuanto al estadio de la emergencia: la fase inmediata y la fase a largo plazo. La fase inmediata se caracteriza y enfoca en proporcionar rápidamente la cantidad necesaria de agua potable, en general mediante kits que permitan la potabilización, o camiones cisterna con agua ya potabilizada. (German WASH Network, 2021, pp. 176-181).

La fase a largo plazo, que se implementa después de esa fase de la emergencia inicial, tiene como objetivo fundamentalmente la clarificación (reducción de la turbidez) y desinfección del agua. Incluye la regulación del pH de forma constante en diferentes etapas, y luego, como etapas propiamente dichas, y en general: la coagulación-floculación (puede haber incluso una filtración previa si el agua es muy turbia), la filtración (hay varias tecnologías: arena, membrana, carbón activado y cerámica), y finalmente, la desinfección, en general, mediante cloración, radiación UV y ozonización.

El tratamiento del agua, posterior a la captación, es por tanto crucial, ya que con ello se garantiza su seguridad antes de su distribución. Nótese, que el agua bruta no tiene por qué ser potable, es decir, no tiene que cumplir los requisitos mínimos para que se pueda beber.

A continuación, se exponen las etapas que componen el tratamiento (German WASH Network, 2021, pp. 94-126), mencionándose, que hay una infraestructura, llamada planta de potabilización o planta de tratamiento, que puede incluir todos los procesos que a continuación se van a describir en una sola instalación. Para ello, se pueden incluir de manera integrada junto con el control del pH y la capacidad de hacer análisis previos, agua bruta, y posteriores, agua tratada.



## ***Coagulación y floculación***

La coagulación-floculación (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 2011, p. 65), (Prakash, 2014, págs. 479-484), es un proceso fisicoquímico esencial en el tratamiento del agua, especialmente en situaciones de emergencia, ya que por el contexto de fuentes de agua disponible, se necesita eliminar la turbidez (que es una medida de la cantidad de partículas en suspensión en el agua: algas, sedimentos en suspensión, materia orgánica y contaminantes) de grandes volúmenes de agua en poco tiempo. Es una etapa que puede ser crucial para mejorar la eficiencia de las etapas siguientes, como la filtración y la desinfección. Además, este proceso es que ayuda a reducir contaminantes como materia orgánica, metales pesados y algunos microorganismos patógenos.

La coagulación consiste en la adición de coagulantes al agua a tratar, que son sustancias químicas, como el sulfato de aluminio (alumbre, ver imagen 42 del anexo II) o el cloruro férrico, que neutralizan las cargas eléctricas (de esa manera evitamos la repulsión electrostática) de las partículas suspendidas en el agua, permitiendo de esa manera, que se agrupen en coágulos (partículas más grandes). En situaciones de emergencia, la selección de coagulantes debe basarse fundamentalmente en la disponibilidad local y en la naturaleza de las partículas suspendidas en el agua. En ese sentido, el sulfato de aluminio o alumbre es comúnmente usado debido a su eficacia y disponibilidad, mientras que el cloruro férrico es otra opción efectiva, especialmente si se quiere abordar un agua bruta con un rango más amplio de pH. La dosificación adecuada de coagulantes es crucial y, en emergencias, se pueden usar kits de prueba transportables para determinar rápidamente la dosis óptima de coagulante.

Posteriormente, se realiza la floculación, cuyo objetivo es formar flóculos (partículas más grandes que los coágulos y que se forman por la unión de estos), y, por tanto, más fáciles de sedimentar (por gravedad) y filtrar (por tamaño). Con en realidad estos dos procesos (van unidos), como he comentado, se consigue reducir la turbidez, y, por tanto, son fundamentales para mejorar la calidad del agua.

Para llevar a cabo la floculación, se pueden utilizar varios métodos, el primero es la mezcla lenta, que emplea un mezclador de baja velocidad (una infraestructura que consiste en un depósito con aspas) que busca potenciar la formación de flóculos, y que así pueden ser fácilmente retirados. El método es hacer uso de floculantes, que son sustancias que se añaden al agua para conseguir este objetivo. Estos floculantes pueden ser de varios tipos, como los polímeros de alto peso molecular o la goma guar, que, añadidos al agua, mejoran la formación y el crecimiento de los flóculos.

Para implantar la coagulación y floculación en emergencias se pueden usar mezcladores manuales o motorizados, ambos de carácter portátil. Y en cuanto a infraestructuras que exige, dependiendo del volumen de agua tratar, se pueden emplear además tanques de sedimentación para permitir la remoción efectiva de los flóculos al final del proceso. (German WASH Network, 2021, p. 162). Una imagen que permite ayudar a entender lo anteriormente desarrollado es la ilustración 14 (htt3) donde se visualizan los procesos involucrados y el resultado final.



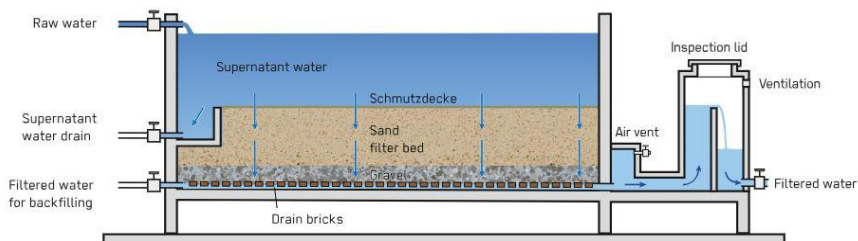
*Ilustración 14. Esquema del proceso de coagulación-floculación. (htt3).*

Por último, es necesario mencionar, que la coagulación-floculación en situaciones de emergencia puede requerir de una filtración previa, prefiltración, para poder eliminar las partículas más grandes, y así mejorar la eficiencia del proceso. Esto es crucial en contextos donde el agua tiene una alta turbidez o contiene grandes partículas suspendidas. (Esfera, 2018, págs. 101-177).

### **Filtración**

La filtración es un proceso que permite eliminar partículas, microorganismos y ciertos contaminantes químicos, aumentando la calidad del agua. Este proceso consiste en general, en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, o filtro, que retiene partículas sólidas y microorganismos. La eficiencia de la filtración puede aumentarse mediante una coagulación-floculación previa. Existen diversos métodos de filtración, que varían según el tipo de filtro, su eficacia y las aplicaciones específicas (German WASH Network, 2021, pp. 96-100).

En la filtración rápida de arena (RSAF) el agua pasa a través de capas de arena y grava, que capturan partículas, tanto grandes como pequeñas. Es particularmente efectiva para reducir la turbidez del agua, pero a menudo requiere de un pretratamiento mediante coagulación y floculación cuando el agua tiene alta turbidez (German WASH Network, 2021, p. 100). La infraestructura que usa en mayor grado es un tanque donde ocurre la filtración cuyo esquema se puede ver en la ilustración 15 (htt4).



*Ilustración 15 (htt3)*

En la filtración lenta de arena (SSF), (Abdiyev, 2023), el agua fluye lentamente a través de una capa gruesa de arena, permitiendo la formación de una biocapa en la superficie del filtro. Esta biocapa



permite eliminar microorganismos, incluyendo bacterias y protozoos (Ellis, 1985, págs. 315-354). La ilustración 16 muestra el proceso de filtración lenta de arena, así como las infraestructuras necesarias (un depósito donde se dan los procesos que permiten la filtración lenta de arena es la siguiente (Abdiyev, 2023, pág. 7)).

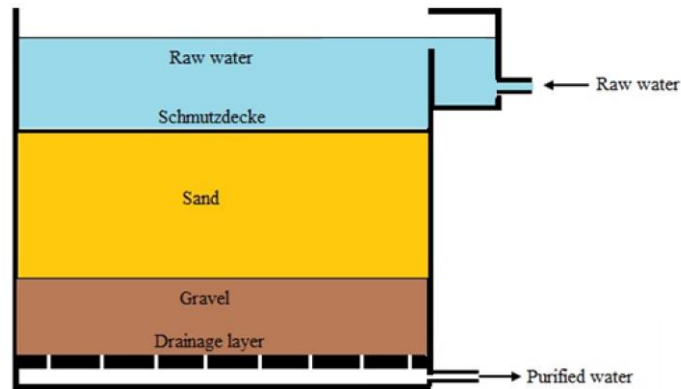


Figure 1. Schematic of a general SSF design (adapted from Wikimedia Commons).

### *Ilustración 16. (Abdiyev, 2023, pág. 7)*

En cuanto a las infraestructuras necesarias (Coerver, 2021, pp. 98-103) para realizar la filtración por arena se usan depósitos como se mostró en las imágenes 16 y 17. Estos depósitos permiten el tratamiento efectivo del agua, reteniendo partículas, sedimentos y algunos contaminantes microbiológicos. Suelen constar de los siguientes elementos : un medio filtrante, compuesto por materiales como arena, grava o incluso carbón activado, que es el encargado de atrapar las partículas y microorganismos presentes en el agua. El agua bruta, que muchas veces ha sido sometida previamente a procesos, como la coagulación y la floculación, entra en el depósito para pasar a través de la zona de filtración. En esta zona, el agua se mueve a través del medio filtrante, lo que facilita la sedimentación de partículas y la adsorción de contaminantes. Finalmente, el agua filtrada se recoge en la parte inferior del depósito o en un compartimento separado, desde donde se distribuye para su uso final. Adicionalmente, hay otro tipo de depósitos que combinan filtros de grava y carbón activo, y que son especialmente útiles para eliminar sedimentos y compuestos orgánicos, mejorando el sabor y olor del agua, lo que es crucial en contextos donde se requiere de una mejora en las características organolépticas del agua y no hay acceso a fuentes de energía intensas.

En cuanto a los materiales utilizados en la construcción de dichos depósitos, el hormigón es el más utilizado por su durabilidad y resistencia a largo plazo, mientras que el polietileno de alta densidad (HDPE) y la fibra de vidrio reforzada con plástico (GFRP) destacan por su ligereza, resistencia química, y facilidad de instalación en emergencias (German WASH Network, 2021, pp. 34-37). Los depósitos de acero inoxidable, aunque más costosos, son ideales para sistemas de gran escala debido a su alta resistencia mecánica y a la corrosión, mientras que el poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP) y el PVC son opciones más ligeras y económicas, aunque menos duraderas (German WASH Network, 2021, pp. 38-41).

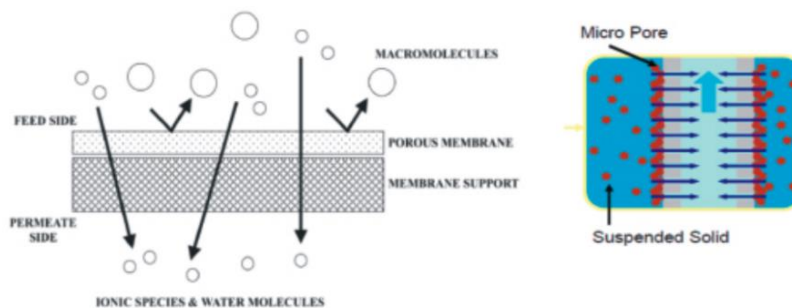
A continuación, se mencionan las tecnologías que emplean como filtros un tipo de membranas semipermeables con pequeños poros (German WASH Network, 2021, pp. 96-126) . Este tipo de filtro (membrana), en general de origen polimérico, es capaz de eliminar partículas de pequeño tamaño disueltas en el agua, atrapándolas, es decir no dejándolas pasar al otro lado del filtro, incluyendo bacterias y virus, proporcionando, por tanto, una barrera eficaz contra ellos, incluso lo hace contra



diversos contaminantes. Sin embargo, requieren de una fuente de energía, al necesitar de un suministro de presión externa para que el agua fluya. Además, el mantenimiento de las membranas es necesario. Todo lo indicado puede limitar su uso en emergencias. A continuación (ver ilustración 30 anexo II), se muestran ejemplos de ellas en los siguientes párrafos, en general la diferencia la va a marcar el material y el tamaño (diámetro) del poro del filtro, y por tanto, la presión necesaria para hacer fluir el agua dentro del filtro. Un esquema que permite visualizar los tamaños para los cuales es efectiva cada tecnología se encuentra en la ilustración 27 del anexo II.

La microfiltración (MF) se basa en la retención (ver ilustración 29 anexo II) física por diferencia de tamaño entre las partículas disueltas en ella y el poro. Así, cuando el agua pasa a través de una membrana con poros de tamaño entre 0.1 y 10 micrómetros, las partículas o sustancias de mayor tamaño quedan atrapadas. Las infraestructuras necesarias para implementarla son básicamente un módulo que hace de contenedor de las membranas y un sistema de bombeo que permite que agua fluya a través de las membranas, en este caso este sistema de bombeo exige baja presión. (Brikké, 2003, págs. 104-105).

La ultrafiltración (UF), se basa en un principio similar, pero utiliza membranas con poros de entre 0.01 y 0.1 micrómetros de diámetro, operando a presiones más altas que la MF. La ultrafiltración necesita de módulos que contengan las membranas semipermeables con ese tamaño de poro, y además sistemas de bombeo que permitan mantener el flujo de agua, esta presión no es muy alta en comparación con la NF y RO. (German WASH Network, 2021, p. 84), (Brikké, 2003, págs. 106-107). Un esquema visual de cómo funciona el filtro en la UF se observa en la ilustración 17.

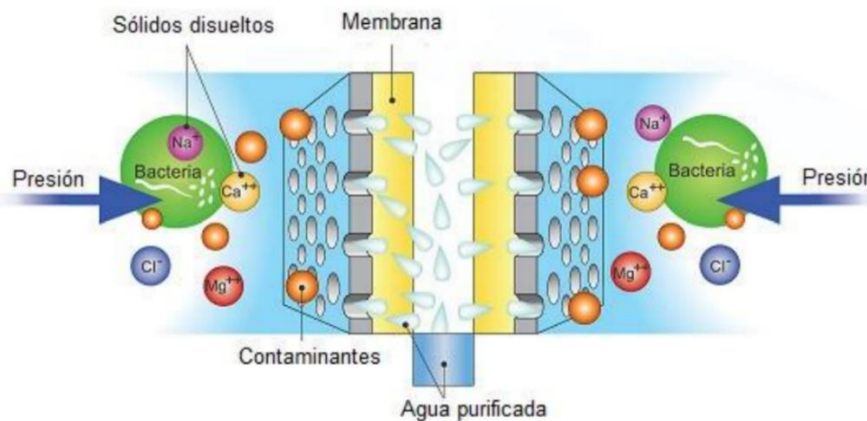


**Ilustración 17.** Las dos fases que están en contacto con la membrana usada en la UF son líquidas, y se encuentran a distinta presión hidrostática. Ciertos componentes de una de las fases líquidas, la que se encuentra a mayor presión, se transferirán hacia el de baja presión. Las pequeñas partículas disueltas en el líquido pasan a través de la membrana porosa, mientras que las grandes moléculas disueltas, los coloides y los sólidos en suspensión, que no pasan a través de los poros, son retenidos. (iagua.es, s.f.).

La nanofiltración (NF) aprovecha dos características físicas de las sustancias disueltas en el agua para su eliminación: su tamaño y su carga eléctrica. De esta forma esta tecnología consigue eliminar ciertas moléculas orgánicas y iones multivalentes. Para ello hace uso de membranas con poros entre 0.001 micrómetros y 0.01 micrómetros de diámetro, y, además, aprovecha la repulsión electrostática entre cargas. La infraestructura necesaria exige de módulos para este tipo de membranas y sistemas de bombeo con una presión alta que permitan el flujo de agua a través de dichas membranas. (Peter-Varbanets M, 2009, págs. 30-31).



La ósmosis inversa (OI en castellano, RO en inglés) utiliza una membrana semipermeable con poros de aproximadamente 0.0001 micrómetros de diámetro, permitiendo el paso de moléculas de agua mientras bloquea prácticamente todos los solutos disueltos en ella, incluidas sales, virus y moléculas orgánicas. Esta tecnología (ver ilustración 38, del anexo II) exige de módulos para contener las membranas, sistemas de bombeo de muy alta presión que permitan superar la presión osmótica, y tanques de almacenamiento para el agua tratada, y para el agua desechada (salobre) con alta concentración de solutos. Una imagen que muestra esquemáticamente el proceso que ocurre dentro de una típica membrana de ósmosis inversa se puede observar en la ilustración 18.



*Ilustración 18. (sypysa.com, s.f.).*

Otros tipos de tecnología de filtración son aquellas que usan filtros de carbón activado, que se utilizan para adsorber (que no absorber) contaminantes químicos existentes en el agua y mejorar así las propiedades organolépticas del agua, como son el sabor y olor. Son especialmente útiles para eliminar compuestos orgánicos y cloro residual, aunque no son efectivos para la eliminación de patógenos y ciertas sales. En general usan filtros donde el carbono o algún derivado de carbono es la base (German WASH Network, 2021, p. 122).

Finalmente, los filtros de cerámica (ver ilustración 37, anexo II) o gravedad están diseñados para purificar agua mediante la acción de la gravedad para hacer pasar el agua a través de un filtro cerámico. En general para un uso doméstico, y por tanto suelen ser dispositivos pequeños y económicos, que permiten ser utilizados sin aporte externo de energía. Pueden ser esenciales en las primeras fases de una emergencia, cuando las infraestructuras más estables y de mayor capacidad aún no están disponibles. Pueden eliminar un amplio número de patógenos y partículas suspendidas, mejorando así la calidad y potabilidad del agua. (Esfera, 2018, pág. 169), (Sobsey, 2008, págs. 4261-4267).

Además de todo lo anterior, es necesario indicar que existen depósitos de filtración modulares y móviles, que pueden ser esenciales en situaciones de emergencia donde la infraestructura convencional no está disponible. Ejemplos de estos sistemas incluyen filtros de arena portátiles, unidades portátiles de filtración por membrana, y sistemas combinados de filtración (German WASH Network, 2021, pp. 146-160).

### **Desinfección**



La desinfección consiste en eliminar sustancias patógenas contenidas en el agua. Existen diversas técnicas, las cuales se adaptan a las condiciones específicas del entorno, incluida el agua, y la gravedad de la emergencia. Estas técnicas son fundamentales para prevenir enfermedades transmitidas vía hídrica (Backer, 2017, págs. 91-111).

La cloración (German WASH Network, 2021, p. 106) es una de las técnicas de desinfección más utilizadas en emergencias debido a su eficacia y facilidad de aplicación. Consiste en la adición de compuestos de cloro, como hipoclorito de sodio o tabletas de cloro, al agua con el objetivo de eliminar patógenos como bacterias, virus y protozoos. La infraestructura incluye tanques y dosificadores que permiten agregar cloro de manera controlada al agua, e incluso se pueden usar sistemas portátiles de cloración (ver imagen 31, del anexo II).

Otra técnica ampliamente utilizada es la desinfección con luz ultravioleta (UV) (German WASH Network, 2021, p. 112). En ella se emplea radiación UV-C para inactivar microorganismos presentes en el agua mediante equipos especializados que la radian, siendo efectiva contra bacterias, virus y protozoos (ver imagen 35, del anexo II).

La ozonización para potabilizar agua en emergencias consiste en utilizar ozono ( $O_3$ ), un gas altamente desinfectante generado in situ, para oxidar y eliminar bacterias, virus, y otros patógenos (German WASH Network, 2021, p. 124).

El método de ebullición o hervido consiste en hacer ebullicir el agua, es uno de los más simples y efectivos para desinfectar el agua, ya que destruye la mayoría de los patógenos presentes. Este proceso es particularmente útil en emergencias cuando otros métodos no están disponibles. La ebullición requiere un recipiente resistente al calor y una fuente de energía, como gas, leña o electricidad (German WASH Network, 2021, p. 164), (ver imagen 39, del anexo II).

La purificación química con compuestos alternativos al cloro es otra opción, particularmente en situaciones donde el cloro no está disponible o no es la opción preferida. Compuestos como el yodo o el dióxido de cloro se añaden al agua en forma de tabletas o soluciones para desinfectarla. Este método requiere una infraestructura mínima, a menudo se limita a contenedores para mezclar y almacenar el agua después de agregar los productos químicos (Karani, 2007, págs. 1-17), (German WASH Network, 2021, p. 160).

El método SODIS (desinfección solar del agua), que utiliza la radiación solar, combinando el calor y la radiación UV-A del sol para desinfectar el agua. El proceso consiste en exponer agua en botellas de plástico transparente (en general PET) a la luz solar durante al menos 6 horas (German WASH Network, 2021, p. 170), (ver imagen 36, del anexo II).

Además de las técnicas estándar anteriores (no son todas), para la desinfección del agua en situaciones de emergencia, existen soluciones integradas, como las plantas de tratamiento móviles y los kits de desinfección. Estas pueden ser esenciales en los primeros estadios de una emergencia, ya que permiten una respuesta rápida y adaptable a diferentes escalas de demanda de agua potable. Las plantas móviles, por ejemplo, están diseñadas para ser desplegadas rápidamente en áreas afectadas por una emergencia, ofreciendo capacidades de tratamiento avanzadas en lugares donde la infraestructura permanente ha sido dañada o simplemente es inexistente (Libertz, 2023, pág. 29). Del mismo modo, los kits de desinfección portátiles proporcionan una solución inmediata y efectiva para



asegurar que el agua sea segura para el consumo, particularmente en los primeros días críticos tras un desastre (foundation, 2023, pág. 94).

### ***Almacenamiento del agua***

El almacenamiento de agua es una fase clave en la gestión del suministro de agua en situaciones de emergencia. Los tanques elevados, permiten la distribución del agua mediante gravedad, reduciendo la necesidad de energía adicional y protegiendo el agua de contaminantes externos, además de asegurar un suministro continuo de agua (German WASH Network, 2021, p. 140).

Los tanques o depósitos a nivel del suelo son otra opción viable, especialmente cuando los tanques elevados no son prácticos o asumibles. A pesar de que requieren sistemas de bombeo para la distribución del agua, son más fáciles de instalar y suelen ser más económicos. Sin embargo, es esencial que estos tanques estén bien cubiertos para evitar la entrada de contaminantes, lo que podría comprometer la calidad del agua almacenada y por tanto el proceso de tratamiento (German WASH Network, 2021, p. 140), (ver imagen 33 anexo II).

En situaciones de emergencia, las bolsas de agua flexibles o bladders (ver imagen 40 del anexo II), se destacan como una solución temporal de muy rápida implantación. Aunque más limitadas en capacidad que los depósitos, y más susceptibles a daños físicos, ofrecen una opción práctica para el almacenamiento de agua en momentos críticos, permitiendo una rápida respuesta ante la escasez (German WASH Network, 2021, p. 138).

Finalmente, los contenedores de agua portátiles, como pueden ser bidones y cubos, son también esenciales para la manipulación y transporte de agua a menor escala. Estos deben estar fabricados con materiales seguros y diseñados para mantener la calidad del agua durante su uso. (German WASH Network, 2021, pp. 130-32).

En cualquier caso, es fundamental que todos los sistemas de almacenamiento de agua se mantengan adecuadamente para prevenir fugas, proliferación de microorganismos y contaminación secundaria (German WASH Network, 2021, p. 186). Un ejemplo de tanque de almacenamiento se puede observar en la ilustración 19.



***Ilustración 19.*** Ejemplo de tanque Oxfam con capacidad de 95 metros cúbicos. (Oxfam Supply Center, 2024).



## ***Distribución del agua***

La distribución de agua potable en campos de refugiados es un proceso esencial que debe garantizar un acceso equitativo y eficiente del agua potable para todas las personas que habiten en el campo.

Cuando no existe la posibilidad de instalar tuberías en un campo de refugiados o no hay acceso a fuentes de agua, la distribución de agua potable mediante camiones cisterna (*water trucking*) (Wekesa, 2009, págs. 1-66) se convierte en una solución crucial. Esta estrategia requiere de una planificación meticulosa que incluya la evaluación de la demanda de agua, la identificación de posibles puntos de abastecimiento, y la implementación de rutas y frecuencias de distribución adecuadas. Es esencial asegurar que los camiones estén equipados con tanques limpios, acondicionados para el transporte de agua, y realizar pruebas regulares de la calidad del agua (suelen transportar agua clorada). Además, deben establecerse puntos de distribución estratégicos dentro del campo, y comunicar a los refugiados sobre el horario y la ubicación de la distribución. La evaluación continua del proceso ayuda a ajustar y mejorar la operación según sea necesario (Sphere Association, 2018, pág. 121), (German WASH Network, 2021, p. 142), ( ver imagen 32 del anexo II).

En un campo de refugiados, cuando existen fuentes de agua potable, y la emergencia está, además, en una fase estable, la distribución puede realizarse también mediante un sistema de tuberías, válvulas, grifos comunitarios y rampas de acceso. Todos estos elementos deben cumplir con estándares internacionales y adaptarse al entorno específico. Este sistema utiliza en las tuberías materiales duraderos para poder conectar las instalaciones de tratamiento con los puntos de distribución, evitando así la contaminación del agua. La elección entre tuberías superficiales y enterradas debe considerar la duración de la emergencia y la exposición a condiciones adversas, mientras que los sistemas por gravedad y por presión ofrecen diferentes ventajas en términos de costo y mantenimiento y su elección dependerá del acceso a energía, orografía y propiedades del terreno. Los grifos comunitarios deben estar ubicados a no más de 500 metros de los refugios y servir a un máximo de 250 personas, y las rampas de acceso deben ser antideslizantes para facilitar el acceso a personas con movilidad reducida. Además, es esencial realizar mantenimiento y supervisión regular para asegurar un suministro continuo y seguro de agua, detectando y reparando rápidamente cualquier problema que pueda surgir. (Sphere Association, 2018, pág. 121), (German WASH Network, 2021, pp. 142-144), (ver imagen 34 del Anexo II).

### **2.3 Cantidad y calidad del agua necesaria**

La Organización Mundial de la Salud (OMS en castellano, WHO en inglés) define en el documento (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 2011) el concepto de la calidad del agua en el contexto de la salud pública, y lo hace diciendo, que es el conjunto de características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua que determinan su aptitud para un uso determinado. En otras palabras, la calidad del agua se refiere a su idoneidad para cumplir con los requisitos de salud y seguridad para el consumo humano, uso recreativo, agrícola, industrial, entre otros. La OMS, en ese mismo documento establece parámetros específicos para la cantidad y calidad del agua necesaria en campos de refugiados, orientados a garantizar la salud y bienestar de las poblaciones desplazadas.

En cuanto a la calidad y cantidad de agua según el uso (ver imagen 41 del anexo II), también hay que tener en cuenta, en el contexto de una emergencia, otros factores que afectan a la accesibilidad al agua, y por tanto a la cantidad de agua. Algunas de estas consideraciones (Esfera, 2018, págs. 101-



177) son la distancia máxima entre las unidades habitacionales y los puntos de abastecimiento (500 m) , el tiempo máximo que hay que esperar en el punto de abastecimiento (30 min) para evitar conflictos y desgaste físico y mental, y tener en cuenta el mantenimiento de los puntos de abastecimiento para asegurar el abastecimiento.

### 2.3.1. Necesidades mínimas de agua

En cuanto a la cantidad mínima de agua necesaria, la OMS, (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017, pág. 102) recomienda un mínimo de 15-20 litros de agua por persona por día en situaciones de emergencia. Esto cubre, según la OMS, las necesidades básicas mínimas de consumo, higiene personal y preparación de alimentos. A su vez recomienda (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017, pág. 101), que al menos 3-5 litros por persona por día, deben estar destinados al consumo directo (beber y cocinar).

En el Manual Esfera se recomiendan al menos 15 litros de agua por persona por día para uso doméstico en situaciones de emergencia, incluyendo bebida, cocina e higiene personal (Esfera, 2018, pág. 103). En ese mismo manual, y dependiendo de las condiciones de las personas refugiadas, puede requerirse más agua, hasta un total hasta 20 litros por persona por día (Esfera, 2018, pág. 104), aunque lo ideal es llegar a 50 litros por persona y día. En cuanto a cantidad de agua mínima requerida, que muestra el Manual de Emergencias de ACNUR (UNHCR *Emergency Handbook*), son también un mínimo de 20 litros por persona por día en campos de refugiados (UHNCR, 2020, p. 154).

Otro hecho a tener en cuenta es la accesibilidad al agua. En concreto con parámetros como la distancia a las fuentes y el tiempo de espera en colas. Según (Esfera, 2018, pág. 132) las fuentes de agua deben estar a menos de 500 metros de las viviendas o refugios, para que el acceso sea seguro y conveniente. En cuanto al tiempo de espera en colas para recoger el agua, éste no debería superar los 30 minutos por persona, eso condiciona el número de personas por cola (Esfera, 2018, pág. 132). Según (UHNCR, 2020, pp. 210-228) las fuentes de agua deben estar a una distancia máxima de 200 metros de las viviendas, mientras que el tiempo de espera en colas no debería exceder los 15 minutos para garantizar un acceso equitativo y eficiente al agua por persona, eso implícitamente, condiciona el número de personas por fila de espera (UHNCR, 2020, pp. 210-228).

En el anexo III se muestra una imagen con la comparación (entre otros más parámetros) de las exigencias mínimas en cuanto a cantidad de agua en emergencias de los dos manuales anteriores, en concreto: distancia, tiempo de espera y cantidad diaria.

### 2.3.2. Calidad de agua necesaria

Además de la cantidad, hay que tener en cuenta la calidad del agua. Esta se evalúa considerando varios parámetros clave, para lo cual es necesario hacer análisis previos y finales de manera constante. De la calidad de agua de la que se parta (agua bruta), así dependerá el tratamiento posterior de potabilización, por tanto, es clave.

En ese sentido se deben medir los niveles de microorganismos patógenos, como bacterias, virus y otros agentes que pueden causar enfermedades transmitidas por el agua, comparándolos con los valores máximos permitidos para garantizar la seguridad del agua a (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017, pág. 30). Un ejemplo es el hecho



de que la OMS especifica que no deben detectarse coliformes fecales en 100 ml de agua distribuida (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017, pág. 74).

Además, se deben controlar los compuestos químicos, incluyendo nitratos, nitritos, y metales pesados, ya que su presencia en el agua en determinadas cantidades podría representar riesgos significativos para la salud humana (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017, pág. 185).

Los parámetros físicos del agua, como el color, la turbidez, la temperatura y el olor, también se analizan, ya que pueden servir como indicadores de la presencia de otros contaminantes, afectar a la salubridad del agua (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017, pág. 257) y condicionar los tratamientos de potabilización. En concreto, y en cuanto a los parámetros físico-químicos del agua, decir que por ejemplo el pH del agua debe estar comprendido entre 6.5 y 8.5 (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 2011, p. 293). En cuanto a la turbidez del agua, esta no debe exceder los 5 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez), entre otras, para asegurar la eficacia de la cloración (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017, pág. 110).

Los niveles de sustancias químicas peligrosas, como nitratos, fluoruro, arsénico, entre otros, deben estar dentro de los límites establecidos por la OMS para prevenir efectos adversos en la salud (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017, págs. 115-120). Por último, se verifica el contenido de sustancias orgánicas, dado que la materia orgánica puede ser un indicador de contaminación en el agua y los metales pesados pueden afectar a la salud (Esfera, 2018, pág. 108). En el anexo IV, tabla 5, se muestra una tabla, que es una pequeña adaptación, de algunos de los parámetros medidos en el agua, y sus límites mínimos para considerarse potable según la OMS.

### 2.3.3. Control de la calidad del agua

El control de la calidad del agua se realiza (Alazzeah, 2014) mediante la medición constante de la calidad del agua en un campo de refugiados son esenciales para asegurar que el suministro sea seguro tanto para el consumo humano como para actividades relacionadas, como la preparación de alimentos, la limpieza y la higiene personal. Para lograrlo, se implementan diversas técnicas y normativas destinadas a evaluar y mantener la calidad del agua.

Entre las prácticas comunes se incluye la realización de muestreos regulares en diferentes puntos del sistema de abastecimiento, como las fuentes de agua, los tanques de almacenamiento y los puntos de distribución, lo que permite evaluar la calidad en distintos momentos y ubicaciones del proceso (UNHCR, UNHCR.org, 2020, págs. 120-12).

Además, se utilizan equipos específicos para la evaluación de la calidad del agua, como kits de pruebas rápidas, que permiten detectar de manera inmediata parámetros críticos, como el pH y la presencia de cloro residual, esencial para garantizar una desinfección adecuada (UNHCR,



UNHCR.org, 2020, pág. 123). En contextos más estables, se pueden establecer laboratorios para poder realizar análisis más detallados (UNHCR, UNHCR.org, 2020, pág. 120).

El monitoreo continuo de la calidad del agua también es crucial en esta fase y, en algunos casos, se implementan sensores y sistemas automatizados que permiten realizar un seguimiento en tiempo real de los parámetros de calidad del agua (Esfera, 2018, pág. 109).

Además de lo anterior, es fundamental capacitar al personal local en la realización de pruebas de calidad del agua y en la comprensión de las normas y pautas de calidad, asegurando que las pruebas se lleven a cabo de manera precisa y que los resultados sean interpretados correctamente bajo una supervisión técnica adecuada (UHNCR, 2020, p. 126).

#### 2.4 Tecnologías de potabilización: ventajas y problemáticas

Aquí se comentan las ventajas y problemáticas de las tecnologías de potabilización, cuyo funcionamiento fue citado anteriormente. Se incluyen tanto las de desinfección como las de filtración ya que ambas tienen el objetivo de asegurar la calidad del agua o potabilizarla.

Como se mencionó anteriormente, la cloración es una de las tecnologías de potabilización (desinfección) más comunes en un campo de refugiados. Se utiliza debido a su simplicidad (aunque exige un mínimo de formación a quien la realiza), costo y efectividad. Esta técnica es eficaz para eliminar bacterias y virus, además de mantener un residual de cloro que ayuda a preservar la calidad del agua más allá del momento en que se añade. No obstante, la cloración tiene limitaciones, especialmente en aguas con alta turbidez, y no es efectiva contra ciertos protozoos, como *Cryptosporidium*. Además, puede generar subproductos de desinfección potencialmente peligrosos si no se controla adecuadamente. Por último, como ventaja, mencionar que la cloración proporciona una desinfección efectiva y residual, manteniendo el agua segura durante un tiempo en las etapas de almacenamiento y distribución. (Coerver, 2021, p. 110), (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017, pág. 566).

En cuanto a la filtración rápida en arena, es efectiva para reducir la turbidez y eliminar algunos organismos patógenos. Su capacidad de volumen de agua a tratar es alta en comparación con la filtración lenta de arena. Esta tecnología, además, puede implementarse rápidamente en situaciones de emergencia. Sin embargo, su eficacia se ve reducida frente a virus y algunas bacterias pequeñas, y, además, requiere de un mantenimiento regular para asegurar su buen funcionamiento, lo cual puede ser un reto en condiciones de emergencia (Coerver, 2021, p. 48), (Esfera, 2018, págs. 104-105). También exige de formación en cuanto al personal que la aplica. En cuanto al espacio de las instalaciones es menor que el requerido por la filtración lenta de arena. Su consumo energético es elevado (Davis, 1992, págs. 195-205).

La filtración lenta de arena es especialmente adecuada en situaciones de emergencia si no afectan a comunidades grandes, debido a su simplicidad y bajo mantenimiento (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 2011, pp. 75-76). Al ser capaz de tratar menos volumen de agua en el mismo tiempo que la filtración rápida, pero exigir de poco mantenimiento, y no ser intensiva energéticamente (a veces es humana), es recomendable para pequeñas poblaciones. (Davis, 1992, págs. 195-205)

En cuanto a la desinfección del agua por radiación UV, una de sus ventajas es que no introduce sustancias químicas (residuo) en el agua, preservando así su sabor y composición química. Sin



embargo, los sistemas de desinfección UV requieren de lámparas UV, y de un reactor donde el agua se exponga a la radiación, es decir exigen una inversión material. En situaciones de emergencia, es posible utilizar sistemas portátiles o unidades de tratamiento UV en plantas temporales. Otra desventaja, es que la desinfección UV no deja un residuo desinfectante, lo que implica que el agua debe consumirse rápidamente o almacenarse de manera segura para evitar su contaminación. Además, la eficacia del proceso puede verse afectada si el agua tiene una alta turbidez.

La desinfección solar (SODIS), es especialmente útil en áreas con abundante luz solar y escasos recursos. Sin embargo, su aplicación está limitada por la necesidad de varias horas de exposición y su ineficacia en días nublados, además, de que no mejora la turbidez del agua (Coerver, 2021, pp. 50-51), (Esfera, 2018, pág. 106).

En cuanto a la ozonización, tiene limitaciones, como su alto costo y la necesidad de infraestructura específica (generadores, energía, y sistemas de control). Además, no es efectiva para eliminar contaminantes químicos resistentes como metales pesados, pesticidas, nitratos, cloro, ni es adecuada para aguas con alta turbidez o fuentes contaminadas crónicamente. El proceso exige personal formado debido a la toxicidad del ozono en altas concentraciones (German WASH Network, 2021, p. 124).

En cuanto a la ebullición, o hervido, aunque es un método muy efectivo, su implementación a gran escala puede ser un desafío, especialmente en lugares donde el combustible es escaso. Además, la ebullición no reduce la turbidez del agua, lo que puede ser una limitación en situaciones donde la claridad del agua es un factor importante (German WASH Network, 2021, p. 164).

En cuanto a la desinfección química, hay que advertir, en cuanto a problemáticas, que algunos compuestos químicos, como el yodo, pueden dejar un sabor desagradable y no son recomendados para uso prolongado debido a posibles efectos adversos en la salud (German WASH Network, 2021, p. 158).

Los filtros de cerámica son portátiles y fáciles de usar, lo que los hace adecuados para situaciones de emergencia, aunque son frágiles. Su capacidad para eliminar virus es limitada y requieren de un mantenimiento regular, lo que puede ser complicado de conseguir en entornos de emergencia (German WASH Network, 2021, p. 52), (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017, pág. 123).

Antes de que sean desarrollados los pros y contras de las tecnologías de filtración por membrana, se tiene que mencionar, que en mayor o menor medida pueden sufrir de fouling (o ensuciamiento de membranas). Es el proceso mediante el cual las membranas se obstruyen o ensucian debido a la acumulación de sustancias en su superficie o dentro de sus poros. Este fenómeno es común en todas las tecnologías de filtración por membranas, así como en los sistemas de filtración por carbono activado (Ping Chu H, 2005, págs. 346-350).

En cuanto a la MF, es eficaz para eliminar partículas en suspensión, bacterias y algunos protozoos, mientras que el agua y las moléculas disueltas más pequeñas pasan a través de la membrana decir que se realiza a baja presión, lo que ayuda a reducir los costos energéticos, y además no usa productos químicos. La MF es escalable, es decir existen dispositivos portátiles que se pueden usar en situaciones que así lo requieran. Sin embargo, estas membranas pueden sufrir como se ha comentado, ensuciamiento, lo que afecta su eficiencia, por lo que requieren un mantenimiento regular, como el lavado a contracorriente para desalojar las partículas retenidas (Brikké, 2003, págs. 104-105).



Con relación a (UF), es importante indicar que es especialmente eficaz en situaciones de crisis como desastres naturales y conflictos, es decir en emergencias, ya que proporciona agua potable segura con alta eficiencia, minimiza la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua y, además, como en el caso anterior reduce la necesidad de productos químicos de desinfección. Las unidades portátiles de ultrafiltración existen, y son flexibles y rápidas de instalar, lo que facilita su uso en campos de refugiados y otras áreas afectadas. Este proceso permite eliminar virus, macromoléculas y coloides, produciendo agua de alta calidad en ese sentido. Dado que las membranas de ultrafiltración tienen poros más pequeños, son muy susceptibles al ensuciamiento por materia orgánica y otros contaminantes, lo que exige limpiezas físicas y químicas regulares para mantener la permeabilidad de la membrana, (German WASH Network, 2021, pp. 84;120-125), (Brikké, 2003, págs. 106-107).

Respecto a la NF, es eficaz en la eliminación de dureza del agua y ciertos compuestos orgánicos, y no usa productos químicos. Sin embargo, estas membranas requieren un mantenimiento regular que incluye lavado a contracorriente y limpieza química para prevenir la incrustación y el ensuciamiento, manteniendo así su eficiencia. Además, en general, los sistemas de nanofiltración no se diseñan típicamente para ser portátiles debido a su complejidad y los requerimientos operativos específicos. (Peter-Varbanets M, 2009, págs. 30-31).

En cuanto a los filtros de carbón activado hay que decir que son útiles en emergencias para potabilizar agua, ya que pueden escalarse (portátiles), eliminan contaminantes orgánicos, cloro y mejoran el sabor del agua, siendo fáciles de usar, y de bajo consumo energético. Sin embargo, presentan limitaciones, como su incapacidad para eliminar patógenos, metales pesados y sales, y requieren en general, de reemplazos frecuentes de los filtros que usan, especialmente en situaciones de aguas muy contaminadas. Además, suelen necesitar pretratamiento para evitar la obstrucción de los filtros. (WHO/OMS, 2011, pág. 37).

La ósmosis inversa es una solución muy efectiva en emergencias debido a su gran capacidad para producir agua potable de alta calidad al eliminar sales, bacterias, virus y otros contaminantes, incluso a partir de agua de mar o contaminada, lo que la hace adaptable a diversas fuentes hídricas (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017, pág. 127). Además, su implantación se puede escalar, es decir, hay unidades portátiles, que permiten una rápida implementación en zonas afectadas por desastres, sin depender de suministros constantes de productos químicos. Esto es particularmente útil en situaciones costeras, donde puede desalinizar agua de mar, proporcionando una fuente de agua potable cuando otras fuentes no están disponibles. Sin embargo, la ósmosis inversa es un proceso costoso en términos de instalación y mantenimiento debido a su alto consumo energético y la necesidad de operar a altas presiones para permitir el paso de agua a través de sus membranas. Además, genera un residuo concentrado en contaminantes y sales que plantea desafíos medioambientales, especialmente en entornos de emergencia donde el espacio puede ser limitado. Por último, las membranas utilizadas son propensas al ensuciamiento biológico, químico y a la incrustación de minerales, lo que exige de limpiezas químicas y desinfecciones especializadas, en concreto muchas membranas se oxidan con el cloro residual. También, la turbidez y la materia orgánica en el agua pueden afectar su rendimiento, haciendo necesario un pretratamiento previo (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017, pág. 131), (German WASH Network, 2021, p. 126), (Amjad, 1993, págs. 89-91).



### 3. Caso práctico: aplicación a un campo de refugiados

En esta sección se presenta un caso práctico que aplica directamente todos los conceptos desarrollados anteriormente en 1 y 2. Es importante mencionar, que se intentaron obtener datos reales sobre cantidades de agua en el abastecimiento de agua en campos de refugiados, y no fue posible acceder a esa información de forma concreta. Por ello, se optó por diseñar un caso ficticio que intentase reflejar fielmente las condiciones y desafíos típicos de los campos de refugiados, para luego proponer una solución argumentada para el abastecimiento de agua. Los pocos datos que se obtuvieron, especialmente los procedentes de los campos de Tindouf, sirvieron para centrar el caso (ver las ilustraciones 42 y 43 del anexo VII).

El objetivo del caso es plantear una estrategia de intervención en cuanto al abastecimiento del agua en un campo de refugiados. A través de un enfoque y metodología, basadas principalmente en la revisión bibliográfica, y a partir de ciertos supuestos, y continuando con argumentación lógica a partir de los pros y contras de la implementación y necesidad de cada tecnología en el proceso de abastecimiento del agua, y teniendo siempre en cuenta el contexto geográfico, material y social del campo, se busca identificar las mejores decisiones al respecto. Se pretende con ello, contribuir a visualizar el enorme valor del conocimiento teórico y práctico en esta área poniendo el agua en el centro de todo lo que tenga que ver con el sustento de la vida.

#### 3.1 Introducción y dimensionamiento

El campamento de refugiados Aguas Claras se encuentra en una región de clima semiárido de tipo cálido, que bien podría representar la situación de muchos campos de refugiados en la actualidad (Sudán, Siria, Sahel...). La temperatura media anual es de 23°C, con una precipitación anual media de 400 mm. El terreno sobre el que se asienta es básicamente plano, ya que se buscó precisamente esa localización cercana a las fuentes de agua y que permitía una mejor implantación de la logística. En sus alrededores, cuenta con una colina cercana en su extremo noroeste y apenas hay vegetación salvando algunos matorrales. No hay un entorno de violencia externa cercano, las comunidades más cercanas viven de la agricultura y ganadería no intensivas, pero están alejadas. El campamento acoge a personas refugiados víctimas de persecución política en otro país, Aguas Claras está situado en otro país, en concreto, cerca de la frontera entre ambos.

La población del campo de refugiados está formada por 5000 personas, con un número parecido de hombres y mujeres, siendo un tercio menores, y un cuarto, personas de avanzada edad de ambos sexos.

<b>Población total</b>	5 000
Mujeres	2 500
Varones	2 500
<b>Población vulnerable total</b>	2 917
Ancianos	1 250
Niños	1 667

*Tabla 1. Demografía básica del campo de refugiados.*



Una vez caracterizada la población por completitud, es necesario indicar que, para el caso, que es muy ideal, no se van a considerar diferencias en cuanto a la necesidad de agua según sexo o edad.

ACNUR, en su *Manual para situaciones de emergencia* que la planificación de un campo de refugiados dice que se debe seguir una aproximación “de abajo arriba” o *bottom-up* (UNHRC, 2007, p. 80). Es decir, primero deben considerarse las necesidades de los individuos y las familias, para después, considerar cuestiones de diseño del conjunto en lugar de comenzar con una preconcepción del diseño del campamento que más tarde se divida en unidades más pequeñas. El propio manual ofrece la siguiente tabla:

Module	Consisting of	Aprox. No. of persons
Family	1 family	4 - 6 persons
1 community	16 families	80 persons
1 block	16 communities	1,250 persons
1 sector	4 blocks	5,000 persons
1 camp module	4 sectors	20,000 persons

*Ilustración 20. Tabla del Manual de Emergencias de la UNHRC que expone la propuesta de planificación modular para la organización en campamentos de refugiados, partiendo como unidad mínima de cada una de las personas, y agrupándolas en familias, comunidades, bloques, sectores, y finalmente, módulos. (UNHRC, 2007, pp. 250-252).*

Y ese es, precisamente, el principio sobre el que se van a calcular las dimensiones y los requisitos del campamento, que el propio ACNUR denomina “planificación modular”.

Por tanto, el campamento de refugiados de Aguas Claras contará con 1 sector de 5000 personas, dividido en 4 bloques, de 1250 personas. Cada bloque se dividirá a su vez, en 16 comunidades, cada una de las cuales, contará con 80 personas (he redondeado siempre hacia arriba). La unidad mínima supraindividual es la familia. Asumiendo un número medio de 5 personas por familia, una comunidad se compondrá de 16 familias en Aguas Claras.

Las personas refugiadas compartirán servicios comunitarios que necesitarán de abastecimiento de agua, tales como aseos, letrinas, cocinas o la lavandería integrada todo ello dentro del WASH. En ese sentido, y en otro nivel, el de los bloques, siguiendo la clasificación propuesta por ACNUR y detallada en el párrafo anterior, los habitantes del campamento tendrán también una categoría más general de servicios, dedicados y análogos a los de una población de tamaño pequeño, como centros educativos, de salud, y recolección de basuras e higiene pública.

El Manual Esfera recomienda que se proporcione (Esfera, 2018, págs. 265-320) un mínimo de 3,5 m<sup>2</sup> de espacio cubierto por persona en asentamientos temporales durante emergencias. Ese espacio incluye no solo el área para dormir, sino también para almacenamiento de pertenencias personales, y debe ser lo suficientemente flexible para acomodar cambios en el tamaño y la composición familiar. Según el manual de emergencias de ACNUR (UNHCR), (UNHRC, 2007, p. 211), se establece como estándar una superficie total, de aproximadamente 45 m<sup>2</sup> por persona en situaciones de emergencia. Este espacio incluye no solo el área de alojamiento personal, sino también todas las infraestructuras y servicios necesarios para la vida cotidiana, como vías de acceso, instalaciones sanitarias, áreas



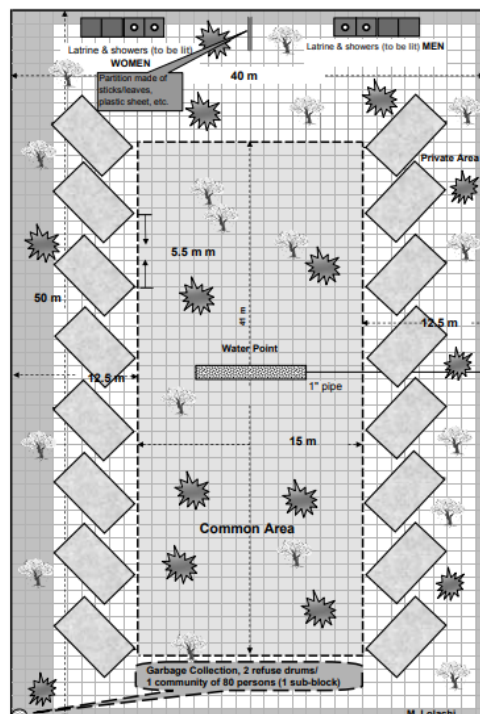
comunitarias y servicios básicos. Ese es el espacio que usará para aproximar el posible tamaño total del campo para acomodar a todas las personas refugiadas.

Aplicado al caso particular de Aguas Claras:

$$5\,000 \text{ personas} \cdot 45 \frac{\text{metros cuadrados útiles}}{\text{persona}} = 225\,000 \text{ metros cuadrados útiles}$$
$$= 0,225 \text{ kilómetros cuadrados útiles}$$

Para contextualizar, decir que esta superficie es aproximadamente (un factor 0,51) la mitad de la superficie de Ciudad del Vaticano, cuya superficie total de unos 0,44 km<sup>2</sup>. Se hace hincapié en el hecho de que en la consideración de esta superficie solamente se está teniendo en cuenta a las personas refugiadas, para ser más conciso, habría que tener en consideración también al resto de personas que hacen posible el mantenimiento del campo, pero se considera que son un porcentaje pequeño.

El diseño de cada comunidad seguirá las pautas del *Manual para situaciones de emergencia* (UNHRC, 2007), según el esquema que se muestra en la ilustración 21, donde se muestra un esquema en dos dimensiones de un diseño de concepto modular extraído del Manual de Emergencias de la UNHRC donde se muestra la manera en la que se podría construir una “comunidad”, incluyendo duchas, letrinas para hombres y mujeres, puntos de recolección de basura, y áreas comunes, además de las áreas privadas (UNHRC, 2007, p. 214).



*Ilustración 21. (UNHRC, 2007, p. 214).*

La solución propuesta para el abastecimiento de agua en el campamento (Esfera, 2018, págs. 101-177), es escalable gracias a dicho diseño modular y adaptable. Al utilizar componentes independientes como bombas, filtros y paneles solares, podemos ajustar la capacidad de producción de agua según



las necesidades. Además, la implementación de tecnologías sencillas, sostenibles y de bajo costo, como la filtración por gravedad, facilita su replicación en otras áreas o campamentos.

### 3.2 Necesidades de agua para el abastecimiento del campo de refugiados

Para este apartado se toman como referencia los datos del Manual Esfera, que incluye una tabla con las necesidades mínimas de agua para los seres humanos (Sphere Association, 2018, pág. 122):

Necesidades para asegurar la supervivencia: consumo de agua (para beber y utilizar con los alimentos)	2,5–3 litros por día	Depende del clima y la fisiología individual
Prácticas de higiene básicas	2–6 litros por día	Depende de las normas sociales y culturales
Necesidades básicas para cocinar	3–6 litros por día	Depende del tipo de alimentos y las normas sociales y culturales
Necesidades básicas: cantidad total de agua	7,5–15 litros por día	

*Ilustración 22. Relación del número de litros de agua diarios totales por persona mínimos para las personas, además de desglosados en tres grandes categorías, consumo directo, higiene, y cocina (Sphere Association, 2018, pág. 122).*

Esas cantidades nunca deben tomarse como máximos, y en ningún caso son asumibles cuando las personas desplazadas se ven obligadas a permanecer largos periodos en el campo, es decir, se debe hacer por aumentar esas cantidades en la medida de lo posible. También es importante señalar que, en un entorno urbano de renta media, unos 50 litros por persona y día es una cantidad suficiente para ser considerada como digna en emergencias (Sphere Association, 2018, pág. 123). Por lo tanto, aunque el Manual Esfera reconoce que alcanzar los 50 litros por persona por día puede no ser posible en todas las emergencias, este es el estándar ideal. Para contextualizar un poco el significado de esta cantidad, se toma como referencia el siguiente ejemplo: el Instituto Nacional de Estadística (INE) señaló un consumo medio de agua de los hogares en España es de 128 litros por habitante y día en 2022 (Instituto Nacional de Estadística, 2024). Para el caso de Aguas Claras se establece, además, un objetivo transversal, que consiste en minimizar las tasas de morbilidad y mortalidad asociadas a falta de agua, saneamiento e higiene (WASH), por lo que se planteará un sistema de abastecimiento que suministre una cantidad más cercana a los rangos ideales del número de litros por persona y día.

Indicar, que las necesidades de agua incluyen también su calidad, y que esta se desarrollará en el tratamiento.

Dicho lo anterior, se considera como objetivo mínimo ideal alcanzar un 80% de esos 50 litros por persona y día para un **primer escenario**, eso hace que la cifra a alcanzar en el suministro sea de 40 litros por persona y día ( $0,8 \cdot 50 = 40$  litros), que, aplicado a la población total del campo de refugiados nos proporciona la cantidad diaria de agua a suministrar:

$$5\,000 \text{ personas} \cdot 40 \frac{\text{litros}}{\text{persona} \cdot \text{día}} = 200\,000 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$



Por lo tanto, para determinar las necesidades hídricas totales del campamento de refugiados de Aguas Claras, se ha establecido un consumo objetivo de 200 m<sup>3</sup>/día (8,33m<sup>3</sup>/hora, que son redondeados al alza a 9m<sup>3</sup>/hora) para la población total.

Como complemento al cálculo anterior, y para terminar de contextualizar posibles casuísticas, se consideran unos ajustes asociados a los sistemas de abastecimiento mediante tuberías. En primer lugar, se tiene en cuenta las posibles puntas de consumo, que elijo estimar en un 50% por encima del nivel normal, es decir, se tendría que considerar un factor de aumento de 1.5 (sobredimensionamiento). Por otro lado, se han de tener en cuenta las pérdidas por fugas en la red de distribución de tuberías, para las que se van a considerar un 8% de pérdidas, es decir, asumo un factor multiplicativo de 1.08. Todo lo hago siguiendo las directrices de lo expresado en la norma UNE 149201:2017. Es decir, se debería aumentar el ideal de abastecimiento en un factor  $1.5 \cdot 1.08 = 1.62$ , es decir, se necesitaría de un 62% más de volumen de agua.

Al considerarse estos dos factores, y aplicarlos al consumo base anterior, se llega a la conclusión de que las necesidades reales de agua son significativamente mayores de lo que inicialmente se había calculado. Es decir, en lugar de necesitar 9 m<sup>3</sup>/hora, ahora se requieren 14.58 m<sup>3</sup>/hora, lo que equivale a un total de 324 m<sup>3</sup>/día.

Ahora se elabora el mismo cálculo como referencia para los 20 litros por persona y día, para comprender la diferencia entre el escenario anterior y este **segundo escenario**, que se puede considerar como el mínimo para la supervivencia digna de las personas refugiadas:

$$5\,000 \text{ personas} \cdot 20 \frac{\text{litros}}{\text{persona} \cdot \text{día}} = 100\,000 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

Este segundo escenario, que busca garantizar un suministro adecuado, pero mínimo, de agua al campamento de Aguas Claras, requiere de una demanda base de 100 m<sup>3</sup>/día.

Volviéndose a hacer los cálculos complementarios del escenario anterior, y considerando para este escenario, de igual manera los factores de demanda máxima (factor de punta de 1.5) y las pérdidas inherentes al sistema de distribución por fugas (8%), se determina, que el caudal necesario es de aproximadamente 6.8 m<sup>3</sup>/hora, lo que equivale a un volumen diario de 165 m<sup>3</sup>.

En el primer escenario, se establece una demanda base considerablemente más alta, lo que sugiere la posibilidad de una existencia con un nivel de vida y dignidad mayores, lo que permitiría actividades que requieren de un mayor consumo de agua por persona. Esto podría permitir, por ejemplo, la presencia de actividades extras en el uso de agua, como agricultura o ganadería a muy pequeña escala, o bien, ante eventos de calor extremo, que exigen un mayor consumo de agua, la posibilidad de acceder a esa agua extra sin escasez, etc.

Es importante señalar que la inclusión de hospitales u otros servicios, más o menos intensivos en el uso de agua, puede cambiar el cálculo total de necesidades de abastecimiento. Por ejemplo, la presencia de un hospital en un campamento de refugiados aumenta drásticamente el consumo de agua. Un hospital de 50 camas, por ejemplo, necesitaría de al menos 5500 litros diarios solo para pacientes y personal. Este valor se incrementa significativamente al considerar la limpieza, lavandería y otros



servicios. El Manual Esfera sirve como guía, pero cada situación requiere de un cálculo específico considerando el tamaño del hospital, los servicios ofrecidos y los protocolos de higiene (Sphere Association, 2018, pág. 145).

### 3.3 Identificación y análisis de las fuentes disponibles, captación, tratamiento y almacenamiento del agua obtenida.

Para alcanzar esa cantidad de agua, se han identificado 2 fuentes de agua que se van a considerar en el caso para el abastecimiento de Aguas Claras: una laguna superficial a cientos de metros del asentamiento, y una colina bajo la cual, se conoce por los datos hidrológicos que se facilitaron a los responsables del campo, que hay un acuífero subterráneo, situado algo más lejos. Se ha elegido esta configuración en concreto para poder ilustrar de forma más completa el campo, con aguas brutas provenientes de dos fuentes distintas, y compararlas en origen como en calidad.

En cuanto al **acuífero**, su carácter subterráneo lo hace menos susceptible a la contaminación externa y a las fluctuaciones estacionales por evaporación, régimen de lluvia, etc. No obstante, es crucial evitar su sobreexplotación y garantizar la cantidad y calidad del agua a largo plazo, y además, que las comunidades vecinas no se vean afectadas en caso de hacer uso del agua del acuífero, de ahí la necesidad de vigilarlo una vez establecido como fuente. El agua en esta área es clave, y las comunidades vecinas la respetan y cuidan. La recarga natural del acuífero a través de la infiltración de agua de lluvia garantiza su sostenibilidad a largo plazo según los datos que nos han proporcionado las autoridades del país. La elección de un acuífero para abastecer al campamento no es solamente una decisión técnica, sino un proceso que implica negociaciones, debates, diálogos y acuerdos con la comunidad anfitriona cercana local para evitar conflictos a corto y largo plazo.

Un grupo de técnicos asociado a la ONG, que colabora en la logística del campo, tomó muestras del agua bruta del acuífero, y se analizaron en un laboratorio móvil. Los parámetros evaluados incluyeron turbidez, pH, contenido de sustancias químicas (nitratos, flúor, cloro, y carbonatos para ver la dureza del agua), especialmente, metales pesados (Pb, Cd y As), y un amplio espectro de patógenos (rotavirus, norovirus, legionela, coliformes, etc.), todo y tal y como recomienda la OMS (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017, págs. 185-517). Tras descartar cualquier tipo de contaminación severa, se desarrollarán las siguientes fases y etapas para desarrollar el abastecimiento.

En cuanto a la **laguna superficial**, es una fuente de agua más accesible y con a priori más volumen, pero al estar más expuesta a contaminantes externos, necesita de otro plan de abastecimiento, principalmente por el cambio en el tratamiento. Su idoneidad como fuente de agua dependerá, al igual que en el caso del acuífero, de un análisis previo exhaustivo que evalúe parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, además de considerar las variaciones estacionales y la protección de su cuenca hidrográfica.

Al igual que en el caso de la fuente anterior, el grupo de técnicos asociado a la ONG encargada del análisis del agua tomó muestras del agua bruta procedente de la laguna, y se analizaron en un laboratorio móvil. Los parámetros evaluados fueron los mismos que en el caso anterior y siguieron las mismas referencias de la OMS al respecto. Gracias a estos análisis se descarta la existencia de cualquier tipo de contaminación severa, que impidiera el uso de esta fuente. Los análisis del agua bruta además de dar paso a la captación permiten desarrollar las siguientes etapas del abastecimiento y justificar las tecnologías a usar, tanto en el caso de la laguna, como en el del acuífero.



## **Captación de las fuentes**

El primer objetivo es conseguir extraer el volumen de agua requerido según los cálculos anteriores desde las fuentes identificadas.

### ○ ***Acuífero***

La altura de la colina es de unos 25 metros sobre el nivel medio del campamento, y allí es donde se va a realizar la perforación, el equipo de ingeniería que colabora en la gestión del campo ha calculado que para alcanzar la bolsa de agua se necesitará perforar un pozo profundo de como mínimo 50 metros, tomando los datos como realistas pero variables según las circunstancias geográficas.

Será, por tanto, necesario realizar un mayor esfuerzo para la construcción que para el caso de que se tratase de un pozo manual o somero, que incluso se podría excavar manualmente, pero el pozo profundo de la colina posee ventajas adicionales: las condiciones geofísicas aseguran un caudal constante y menos variable según la estación, por lo que dicha instalación podría estar preparada para un asentamiento de larga duración. El pozo se construirá teniendo en cuenta un estudio previo de la capa freática del terreno y usando una perforadora alimentada por diésel. Las etapas sucesivas de la instalación están orientadas en sentido sureste, de manera que la gravitación ayude al agua en su caída y paso por los procesos que se describirán a continuación.

### ○ ***Laguna***

Para el abastecimiento de Aguas Claras, se utilizará el bombeo para extraer agua de dicha laguna. Este método se elige porque ofrece mayor flexibilidad y control sobre el caudal, permitiendo ajustar el suministro a las necesidades del campamento. Aunque la gravedad podría ser una opción en algunos casos, el bombeo es más versátil y permite superar desniveles topográficos, que es nuestro caso, y además tenemos acceso a energía que permita el uso de bombas de bombeo.

## **Tratamiento del agua bruta procedente de las fuentes**

Como se ha comentado antes, la elección de los procesos de tratamiento del agua bruta depende del origen de esta y de cómo se encuentre, ya que cada fuente presenta características únicas en términos de sólidos (turbidez), contaminantes, dureza y carga de patógenos (virus y bacterias), etc.

### ***Agua bruta captada del acuífero bajo la colina***

El agua proveniente de un acuífero es subterránea, como se ha comentado antes, debería tener más calidad (en comparación con la de laguna) de forma natural gracias a los procesos de filtración naturales que ocurren en el subsuelo. La geología de estratos que conforma muchos acuíferos actúa como filtros, reteniendo partículas sólidas, microorganismos y otros contaminantes que el agua arrastra durante su infiltración en el suelo.

Los resultados que se obtuvieron para el análisis del agua antes (bruta) y después del tratamiento se encuentran en el Anexo V (tabla 6). Es de hecho el análisis del agua bruta y el contexto (medios) quienes justifican la elección del tratamiento. En dicho anexo V se adjuntan los resultados de ambos análisis.



Tras los análisis previos del agua bruta (agua entre otras características, salobre) se decide, tratar el agua bruta con un proceso previo de prefiltración, una posterior ultrafiltración, aplicar osmosis inversa después, y finalmente, someterla a cloración. Todo se hará en una planta potabilizadora, construida *ad hoc* y de carácter portátil.

A través de todo este proceso, cuyas tecnologías ya se han introducido y explicado en el punto 2, el agua subterránea se somete a un tratamiento que busca asegurar su potabilización. La prefiltración y primera etapa de ultrafiltración reducen la turbidez y retienen gran parte de las partículas suspendidas y microorganismos, mientras que en la segunda se eliminan iones de sales menor tamaño, el resto de patógenos y moléculas de menor tamaño. El resultado final es que se genera al final agua de alta pureza. (German WASH Network, 2021, p. 126).

Por último, hay que destacar, que después de la ultrafiltración y la ósmosis inversa, la cloración sigue siendo recomendable, especialmente cuando el agua tratada, a posteriori, se distribuye a través de una red de tuberías o mediante camiones cisterna, como es nuestro caso. Ya se mencionó, que la cloración proporciona una desinfección residual, lo que significa que continúa desinfectando el agua mientras se distribuye, previniendo su contaminación por patógenos en las tuberías (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017, págs. 111-115).

El elevado consumo energético de la ósmosis inversa, tal como se explicó en el apartado 2, se ha tenido en cuenta, ya que la energía (eléctrica) será proporcionada por una central de ciclo combinado, cuya energía llegará a la estación potabilizadora donde se integrarán las tres tecnologías para aumentar la eficiencia y el rendimiento. Eso hará posible este proceso desde el punto de vista energético gracias a la extensión de la red eléctrica del país de acogida, que permitirá conectar el campo de refugiados con la red eléctrica general mediante tendido eléctrico.

Además, también se tendrá en cuenta la gestión de los residuos generados por la osmosis inversa, mediante la incorporación de un depósito cuyas aguas se podrían usar en, por ejemplo, limpieza previo análisis.

Como se mencionó antes, se implementará un proceso de pretratamiento del agua con el objeto de prolongar la vida útil de las membranas, en concreto, será un proceso de coagulación-floculación con posterior sedimentación, que también se explicó en el apartado 2, y que llevará asignado un tanque de sedimentación propio para extraer los flóculos.

Todo lo expuesto anteriormente está respaldado por los datos medidos por los equipos de análisis de aguas, reflejados de forma hipotética en los resultados de la tabla I del Anexo V.

Los resultados del análisis del agua tras el proceso completo de potabilización están expuestos en la tabla 7 del mismo Anexo V, muestran que el tratamiento fue eficaz. La ultrafiltración, junto con la prefiltración, redujo significativamente la turbidez y eliminó gran parte las partículas suspendidas. La ósmosis inversa disminuyó las concentraciones de nitratos, nitritos, cloruros, sulfatos, hierro y manganeso a niveles seguros, además del resto de patógenos remanentes, y la cloración aseguró la eliminación de patógenos, y además eliminó por completo la posibilidad de recontaminación del agua por exposición a patógenos, garantizando así, todo el proceso, que el agua fuese potable.



## Agua superficial captada de la laguna

Será tratada de forma inmediata en una planta potabilizadora construida también exprofeso, y que integra en su seno todas las infraestructuras necesarias para realizar las etapas de análisis o evaluación previa, prefiltración, floculación-coagulación, sedimentación, filtración y desinfección.

Es una planta que se ha construido en la fase de estabilización de la emergencia, pero cuyas instalaciones son lo suficientemente robustas como para considerarse una solución incluso a largo plazo. En este caso la energía necesaria para su operación procede de la energía solar (paneles fotovoltaicos y termosolares instalados), ya que la extensión de la red eléctrica no llegará hasta aquí. También se cuenta con varios motores de gasoil de apoyo, y respaldo.

Los pasos seguidos seguirán en la medida de lo posible los que se indican en la guía de OXFAM *Guidelines for Bulk Water Treatment in Emergencies* (OXFAM, 2020, pp. 10-30).

Tras la prefiltración, que se justifica por la alta turbidez del agua, y que consiste en aplicar una Roughing Filtration, (German WASH Network, 2021, p. 98), y cuyo objetivo es eliminar partículas grandes que pueden obstruir y dañar los sistemas de tratamiento posteriores; se inicia la coagulación-floculación. El pH del agua bruta, medido antes de que el agua entre en la planta potabilizadora, se sitúa en un intervalo entre 6,5 y 7,5, lo cual, la hace adecuada para la coagulación-floculación, ya que se evita tener que regular el pH. Se decide usar como coagulante en vez de sulfato de aluminio, no muy disponible en la zona, moringa (Aho, 2012, pp. 487-492), además, a un coste razonable.

El proceso de floculación que es el siguiente, y tal y como se explicó en el apartado 2, genera partículas más grandes, llamadas flóculos, gracias, en este caso, a la adición de sustancias químicas al agua llamadas coagulantes. En este caso no hay disponibilidad de goma guar, un coagulante de origen natural, y se decide usar como coagulante un polímero sintético. Con la coagulación-floculación se logra concentrar los sedimentos (parte de la turbidez) en partículas (coágulos y luego flóculos) más grandes, y que de esa manera se logren filtrar mejor y sedimenten de forma más rápida. Tras la floculación-coagulación, se inicia la etapa de sedimentación en unos tanques diseñados al respecto, donde los flóculos, por gravedad, caen al fondo, sedimentan y pueden ser retirados. La filtración posterior será una filtración granular que, con arena de sílice y grava, muy abundantes en la geografía local, permitirá realizar el proceso. En concreto, se hará una filtración rápida de arena, RSAF, ya que a pesar de que su mantenimiento sea más costoso, y tenga mayor consumo energético que la filtración lenta de arena, permite filtrar mayor volumen de agua en menos tiempo.

Para terminar de asegurar la calidad del agua se llevará a cabo una fase de desinfección mediante cloración, que elimina un amplio espectro de patógenos, y además deja efecto residual durante un tiempo, como se explicó en el apartado 2, en este caso, de como mínimo media hora.

Para medir la bondad final del tratamiento en ambos tipos de agua tratada (acuífero y laguna) se hará uso de los materiales de análisis de agua que ha diseñado Oxfam, que para este caso probablemente sean más baratos y eficientes que construir un laboratorio permanente, y ese proceso lo llevará a cabo personal formado para tal propósito:



*Ilustración 23. Water Testing Kit, Microbiological and Chemical (Oxfam Supply Center, 2024) .*

Los resultados de los análisis del agua de la laguna, tanto bruta, como potable, se pueden ver en el anexo V: tablas 8 y 9.

### **Almacenamiento previo a la distribución**

Considero el escenario en el que se asegura una **dotación de 20 litros por persona y día**, resultando en un consumo diario mínimo total del campamento de refugiados de 165 m<sup>3</sup> (equivalente a 165.000 litros). Como dije anteriormente, este volumen representa el mínimo indispensable para garantizar el suministro de agua para las actividades básicas de la población del campamento, lo ideal sería aumentarlo paulatinamente, más acceso a agua, aumenta la dignidad de las personas.

Con ese dato, menciono que preferible sobredimensionar ligeramente los tanques de almacenamiento para poder hacer frente a posibles variaciones en la demanda de agua y garantizar un margen de seguridad ante imprevistos de cualquier índole. Además, esta medida facilita futuras ampliaciones del sistema sin necesidad de realizar inversiones adicionales en nuevos tanques.

La elección del material de los tanques debe se basa en criterios como la resistencia a la corrosión y la durabilidad, así como en factores económicos: costo de fabricación, peso y transporte. Es imperativo garantizar la calidad sanitaria del agua almacenada mediante el aislamiento térmico, la protección contra agentes externos y con un programa de mantenimiento preventivo (del que se encargará un equipo coordinado).



*Ilustración 24. Tanque Oxfam 11 metros cúbicos. (Oxfam Supply Center, 2024)*



Este tipo de tanques se llevan usando desde la década de los 80 del siglo pasado y, según la propia página web de Oxfam, pueden dar servicio durante años: *“with good technical supervision, and when maintained these tanks can remain in service for decades.”*

Para el caso se elige una ubicación elevada de los tanques, o en su defecto, se construiría una plataforma para ellos. La idea es simplificar el sistema de distribución de agua, aprovechando la diferencia de altura y la gravedad, para impulsar el agua minimizando la dependencia de bombas, reduciendo así costos, y garantizando una presión constante.

Por lo tanto, para apenas alcanzar cerca del mínimo sería necesario usar al menos 2 tanques Oxfam de 95 metros cúbicos (95000 litros), que darían una capacidad total de 190000 litros. Teniendo en cuenta el presupuesto asignado a Aguas Claras, el gasto total por tanque sería de 4781 libras esterlinas por tanque, lo cual multiplicado por 2, y ajustado al cambio actual (agosto de 2024) a euros, sería una suma de 5575 euros.

Para complementar esta capacidad, y mantener el presupuesto económico lo más ajustado al mínimo posible, y al mismo tiempo, alcanzar el objetivo fijado, se comprará una unidad de tanque Oxfam del tipo más pequeño posible. Se trata del tanque Oxfam de 11 metros cúbicos (11000 litros) con un precio de 1501 libras esterlinas, o aproximadamente 1751 euros.

## **Distribución**

En cuanto a la distribución, señalar, que en el caso de una etapa temprana de la emergencia, el método a seguir sería realizar un aprovisionamiento mediante tanques cisternas procedentes de fuentes lejanas, donde el agua ya es potable (Oxfam, 2012, pp. 8-12). Este número de camiones cisterna serían variables según el momento de llegada de los refugiados, y como el objeto del presente estudio es centrarse en la logística permanente que dará ser vicio a medio plazo, no se realiza una estimación numérica de ello.

Es necesario indicar que, por la naturaleza ficticia del caso, no se entran en detalles específicos y relativos a la ingeniería de tuberías ni otros elementos técnicos asociados, que quedarían por detallar en estudios complementarios, o por especificar según el caso a aplicar, y que no son objeto de este TFM.

El sistema de distribución del agua en el campo de refugiados de Aguas Claras, una vez estabilizada la emergencia, y al tener fuentes estables de captación de agua, se basará en la construcción de una red de tuberías de PVC de alta densidad de acuerdo con los estándares usuales al respecto. Este material se decide usar ya que es una buena elección al ser resistente a la corrosión, ligero y barato. Esta red contará con ramales secundarios de menor diámetro para las conexiones a los grifos comunitarios. La ruta de las tuberías, al aire (por costos), tendrá en cuenta la topografía del terreno, evitando zonas bajas y áreas propensas a inundaciones. Gracias a que los tanques son elevados, se puede aprovechar la diferencia de presión entre el agua almacenada y el área de distribución. En concreto, al estar a 15 metros por encima del punto más bajo del campamento, se pretende garantizar una presión mínima equivalente a una columna de agua de 15 metros. Razonando que existen ciertas pérdidas de carga en la red de distribución (por fricción en las tuberías, fugas, etc.), podría elevarse un poco el depósito de manera que la presión hidrostática aumentase, aumentando la presión en un factor de seguridad para garantizar el suministro. En un caso hipotético se podría instalar una pequeña bomba de refuerzo o de tipo *back-up* que se activase solo en caso necesario.



Para optimizar el tratamiento y distribución del agua en Aguas Claras, proponemos un sistema que contemple las particularidades de cada una de las fuentes. Recapitulando, hay dos plantas de potabilización, cada una procesando el agua de su fuente correspondiente: laguna y acuífero. Optimizando cada planta para el tipo (según su análisis previo) de agua que trata garantizamos una mayor eficiencia y calidad del agua resultante. Esto implica ajustar los procesos de tratamiento a las características específicas de cada fuente. Al adaptar cada planta a su fuente reducimos costos y optimizamos el consumo de energía además de poder adaptarlas a cambios en la calidad del agua sin afectar a la otra. Si bien trabajarán de forma independiente, creo que es recomendable conectarlas para garantizar el suministro en caso de emergencias. Un sistema centralizado permitirá monitorear y gestionar ambas plantas de manera eficiente.

Por este motivo, después de los tratamientos, que se han detallado anteriormente, ambas líneas de canalización de agua (tuberías) con agua ya potable, se unen antes de llegar a los tanques previamente a la distribución. Este enfoque modular, creo que garantiza que el agua de cada fuente reciba el tratamiento preciso que necesita, asegurando la calidad óptima del agua potable final.

Desde los tanques, el agua se distribuirá a través de una red de tuberías hacia los grifos comunitarios. En ese sentido, creo que es conveniente dividir la red de tuberías en sectores independientes para facilitar el control y mantenimiento, permitiendo que sector cuente con válvulas de control para regular el flujo de agua. De esa manera, se podría establecer un sistema de monitoreo continuo de la calidad del agua en diferentes puntos de la red, e incluso algún protocolo de actuación en el caso de que haya cortes de agua en el campamento.

Además, en la instalación de la red tuberías en un campo de refugiados, se deben considerar varios factores para decidir entre tuberías superficiales o enterradas, y si operarán por gravedad o presión, o dependiendo de la zona, una red mixta. Las tuberías superficiales, aunque más rápidas y fáciles de instalar y reparar, están expuestas a daños y condiciones climáticas adversas, lo que las hace más adecuadas para situaciones temporales. Por otro lado, las tuberías enterradas, aunque requieren más recursos para su instalación (por ejemplo, necesitarían de zanjas de unos 40 cm de profundidad) y son más difíciles de reparar, ofrecen una mayor protección contra agentes externos, una mala manipulación, y, por tanto, son ideales para infraestructuras más permanentes, es decir, cuando la emergencia se extiende en el tiempo. En cuanto al funcionamiento, un sistema por gravedad a priori es más económico ya que aprovecha la topografía redundando en un menor gasto energético, mientras que un sistema por presión, aunque más flexible, requiere de un suministro continuo de energía y de un mayor mantenimiento (Lindovsky, 2015, págs. 150-62), (Haimés, 1998, págs. 164-177).

Los grifos comunitarios son fundamentales la distribución por ser el punto donde los refugiados van a captar el agua potable. Por este motivo deben estar estratégicamente ubicados para asegurar un fácil acceso al agua potable. Según (Esfera, 2018, pág. 121) cada grifo debe estar a no más de 500 metros de las viviendas (refugios, equivalentes a familias) y atender a un máximo de 250 personas para asegurar un acceso adecuado en el espacio y tiempo. Además, el tiempo de espera por persona para recoger agua no debe exceder nunca los 30 minutos.

Tras lo anterior, se proceden a desarrollar unos sencillos cálculos para estimar la infraestructura necesaria en cuanto a grifos. Partiendo de una población de 5000 personas con un consumo diario por persona de 20 litros como mínimo, y antes de tener en cuenta picos y fluctuaciones, decido ajustar las horas de funcionamiento del sistema a la baja, fijando una cantidad de 12 horas de funcionamiento al día, lo ideal serían 24 horas, pero en este contexto, parece complicado.



El cálculo realizado, además de la asunción anterior es un ideal, ya que asume que toda el agua de abastecimiento se utilizará directamente en los grifos. Sin embargo, en la realidad, parte del agua se destinará a otros usos como el saneamiento en higiene (duchas, inodoros, letrinas), limpieza de áreas comunes, incluso otras actividades, como riego si fuera necesario.

Recordando la cifra de 100 000 litros/día que se van a consumir, en total, y en este escenario, para todo el campamento se llega al caudal: Caudal necesario:  $100.000 \text{ litros/día} / 12 \text{ horas/día} = 8333.33 \text{ litros/hora}$ .

Suponiendo un caudal promedio por grifo de 400 litros/hora (este valor puede variar según el tipo de grifo y la presión del agua) basándome en los datos ofrecidos por (e.V., 2018, pág. 10), escojo un valor medio.

Con un cociente, finalmente se llega al número total de grifos necesarios para repartir ese caudal:  $8333.33 \text{ litros/hora} / 400 \text{ litros/hora/grifo} = 20.83$  grifos comunitarios. Con lo cual, redondeando a la baja, propongo la instalación de 20 grifos comunitarios.

Hay que hacer notar que el manual esfera (Esfera, 2018, pág. 121) recomienda la existencia de un grifo por cada 250 personas, es decir, en este caso  $5000/250 = 20$  grifos, que se corresponde con el cálculo anterior.

La inclusión de rampas en los puntos de distribución (grifos comunitarios) de agua debería tenerse en cuenta también, ya que es esencial para garantizar el acceso equitativo a este recurso básico a personas con dificultades de movilidad (ancianos, enfermos, dificultades motoras, embarazadas, etc.). Al eliminar barreras arquitectónicas, se busca reducir las dificultades de acceso a los grifos para aquellas personas con dificultades motoras o de desplazamiento. Esta acción no solo cumple con las normas internacionales de accesibilidad, como las establecidas por el proyecto Esfera, sino que también promueven la inclusión social y la dignidad de todos los individuos. (Esfera, 2018, pág. 114). En el caso del campamento de refugiados Aguas Claras se propondrían o en su defecto, se debería llevar agua a las personas en esa condición de vulnerabilidad motora mediante bidones, por ejemplo, por parte de un equipo de personas dedicado a ello, ya que hay condiciones de falta de movilidad que impiden la movilidad en sí misma bajo cualquier supuesto.

### 3.4 Alternativas de tratamiento, suministro y almacenamiento

En primer lugar, en caso de que el abastecimiento de agua fuese posible, pero no su tratamiento (falta de insumos: cloro, coagulantes, floculantes; algún problema con el mantenimiento de membranas, etc), una alternativa a todo lo desarrollado anteriormente, sería el reparto y uso de kits de potabilización rápida (Tansel, 2008, págs. 17-26), (Boisson, 2009, págs. 5934-5939), entre los refugiados, basados en muchas ocasiones a nivel técnico: en la filtración por arena, membrana y carbón activado. En general permiten tratar el agua de manera eficiente y segura en caso de una situación de emergencia en sus primeras fases, o cuando la cantidad y calidad del agua del pozo y, o, la laguna se vea comprometida por el motivo que fuera, por ejemplo, fallo en los insumos de cloro. Estos kits eliminan bacterias, virus y otros contaminantes. Sin embargo, tienen sus limitaciones a la hora de filtrar otros elementos y en cuanto al volumen reducido de agua que pueden filtrar.

Otros filtros de tamaño reducido, y que también podrían usarse en este contexto, serían los de carbón activado y cerámica, que constituyen solución rápida y práctica para potabilizar el agua en situaciones



de emergencia, tal y como se vio en el epígrafe 2. El carbón activado adsorbe sustancias químicas, mejorando el sabor del agua, mientras que la cerámica filtra partículas y bacterias. Comparten la característica con los filtros rápidos, son portátiles, fáciles de usar y económicos, pero tienen una capacidad limitada y no eliminan todos los contaminantes.

Una opción más tradicional, y en muchos aspectos más sencilla, es hervir el agua. Aunque este método elimina todos los patógenos, no elimina la turbidez y contaminantes, y además, no es válida para grandes volúmenes, ya que requiere tiempo y energía (German WASH Network, 2021, p. 162).

También se podrían usar puntos de administración de cloro por personal formado a lo largo del campamento, que proporcionasen el agua en bidones repartidos al respecto (German WASH Network, 2021, pp. 158-160).

En caso de que el suministro fallase o no fuera suficiente, los *tank trucks* (camiones cisterna), se presentan como probablemente la solución más viable y estable para el abastecimiento de agua de manera inmediata. Este método también sería viable en un escenario de escasez energética. Estos camiones cisterna (*water trucking*) pueden llegar a cualquier punto del campamento sin importar el terreno facilitando el suministro de agua tanto para consumo humano como para otras actividades. (Sphere Association, 2018, pág. 109), (Sikder, 2020, págs. 5041-5050). Los camiones transportan agua tratada y poseen su propio grifo de distribución. Si bien esta solución es flexible y rápida, presenta ciertas limitaciones, como el costo elevado de operación las pérdidas de agua por evaporación y el impacto ambiental del transporte. Para mitigar estas limitaciones se pueden optimizar las rutas de reparto utilizar cisternas con aislamiento térmico implementar sistemas de distribución local una vez el agua llega al destino y considerar, incluso, el uso de energías renovables para los camiones. La calidad del agua debe ser monitoreada constantemente y debe cumplirse la normativa local para el transporte de agua. (German WASH Network, 2021, pp. 134-135).

Si la emergencia se alargase, y el campo de refugiados, se podría proponer como solución de abastecimiento y tratamiento conectar el campo de refugiados a la red de abastecimiento de agua del país de acogida. Esto llevaría más tiempo, y supondría, que el campo de refugiados, cuya idea es ser una solución temporal, fuese asumido como una solución a largo plazo.

Finalmente, y respecto al almacenamiento, en caso de tener problemas con los depósitos se podría hacer uso de los *bladders* o depósitos flexibles. Su naturaleza ligera permitiría instalarlos en lugares de difícil acceso o con restricciones de espacio, complementando la red de tuberías fija si esta no llegase adecuadamente a todos los puntos. Además, podrían usarse como almacenes temporales en puntos estratégicos de la red, regulando el flujo de agua y creando reservas para momentos de alta demanda. Hay que pensar que los campos de refugiados están expuestos a cambios constantes. Su caso de uso podría ser un área remota del campamento donde extender la red principal fuera costoso o logísticamente complicado. Aquí, los *bladders* podrían transportarse y desplegarse rápidamente para suministrar agua de manera localizada. (German WASH Network, 2021, p. 138)

### 3.5 Descripción de la solución adoptada en el campo de refugiados

En este apartado se resume el proceso que se ha elegido para garantizar agua de calidad a los refugiados, exponiéndolo de forma esquemática y razonando brevemente.

#### Captación



Se han identificado dos fuentes principales para el abastecimiento de agua:

1. **Acuífero subterráneo:** Ubicado bajo una colina cercana, este recurso hídrico presenta una calidad intrínseca superior debido a los procesos naturales de filtración que ocurren en el subsuelo. La explotación se realizará mediante la perforación de un pozo.
2. **Laguna superficial:** Situada a corta distancia del campamento, esta fuente, aunque más accesible, requiere de un tratamiento más intensivo debido a su mayor exposición a contaminantes externos.

### Tratamiento del agua

Etapa del proceso	Acuífero subterráneo	Laguna superficial
Pretratamiento	Coagulación-floculación, sedimentación	Prefiltración
Tratamiento principal	Ultrafiltración, ósmosis inversa	Coagulación-floculación, sedimentación, filtración rápida
Desinfección	Cloración	Cloración

*Ilustración 25. Tabla-resumen. Fuente: Elaboración propia.*

#### Acuífero Subterráneo

1. Se llevará a cabo un proceso de prefiltración, consistente en una coagulación-floculación para aglomerar partículas en suspensión encontradas en el análisis previo, facilitando su posterior eliminación mediante el uso de un tanque de sedimentación, la idea es reducir la turbidez.
2. Ultrafiltración: esta tecnología de membrana retiene partículas y microorganismos acorde a su presión y poro de membrana, mejorando significativamente la calidad del agua.
3. Ósmosis inversa: mediante la aplicación de esta también tecnología de alta membrana, de alta presión y uso de membranas de poro más pequeño que la ultrafiltración, reteniendo sales, minerales y otras sustancias disueltas.
4. Desinfección: la adición de cloro asegura la eliminación de cualquier patógeno residual, garantizando así la potabilidad del agua más allá del momento de la adición.

#### Laguna Superficial

1. Pretratamiento: Se realizará una prefiltración (Roughing Filtration) para eliminar las partículas de mayor tamaño.
2. Coagulación-floculación: Se añadirán coagulantes y floculantes químicos o naturales para aglomerar las partículas en suspensión y facilitar su sedimentación en un tanque al respecto.
3. Sedimentación (unida al proceso anterior): Los flóculos formados durante el proceso anterior se depositarán en el fondo de dicho tanque, pudiendo ser separados (extraídos) del agua.
4. Filtración: Se utilizará una filtración rápida de arena para eliminar elementos de menor tamaño que aún queden en el agua usando un tanque para este propósito.



5. Desinfección: Se añadirá cloro para garantizar la potabilidad del agua durante un tiempo como en la situación anterior.

## Distribución

Relación y características de los elementos logísticos usados en la distribución, teniendo en cuenta que disponemos de dos fuentes de agua (laguna y acuífero), cada una con su propia planta de potabilización optimizada según el análisis previo del agua bruta para garantizar la máxima calidad del agua tratada, y que ha habido un tiempo para desarrollar esta red porque la fase de emergencia está estabilizada:

<b>Tratamiento</b>	Plantas de potabilización diseñadas específicamente para cada fuente de agua, asegurando la máxima calidad.
<b>Red de Distribución</b>	Tuberías de PVC de alta densidad conectan las plantas con tanques elevados.
<b>Almacenamiento</b>	Tanques elevados proporcionan la presión necesaria para la distribución.
<b>Puntos de Distribución</b>	20 grifos comunitarios estratégicamente ubicados.

*Tabla 2. Elementos logísticos I. Elaboración propia*

<b>Modularidad</b>	Sistema flexible y adaptable a cambios en las necesidades del campamento.
<b>Flexibilidad en la Instalación</b>	Posibilidad de utilizar tuberías superficiales o enterradas, y sistemas de distribución por gravedad o presión.
<b>Accesibilidad</b>	Rampas en los puntos de distribución para personas con movilidad reducida.
<b>Monitoreo</b>	Sistema de monitoreo continuo de la calidad del agua en toda la red.

*Tabla 3. Elementos logísticos II. Fuente: Elaboración propia.*

Para visualizar todo este proceso en un mapa se incorpora un plano esquemático en dos dimensiones del campo con los elementos más importantes en cuanto a la distribución del agua en el anexo V.

## 4. Conclusiones y desarrollos futuros

En este TFM se ha realizado una revisión bibliográfica lo más exhaustiva posible sobre el abastecimiento de agua, y más en concreto, en campos de refugiados. Basándome en fuentes como el Manual Esfera del Proyecto Esfera, que pretende preservar la dignidad humana en cualquier estadio, en otros más técnicos, como, el "*Compendium of Water Supply in Emergencies*", y en muchos más artículos, informes, papers, otros manuales sobre emergencias y agua, páginas webs, apuntes y directrices internacionales en cuanto a agua y saneamiento; he intentado desarrollar un conocimiento



humilde, pero argumentativo. Todo ese proceso, además, me ha hecho reflexionar y crear una mínima base personal para el desarrollo de un caso práctico ficticio, que me ha permitido aplicar los conocimientos teóricos a un escenario concreto, intentando que fuera lo suficientemente representativo de la realidad de los campos de refugiados en el mundo.

Uno de los aprendizajes más importantes ha sido que la elección de la técnica adecuada para tratar el agua bruta y las subsiguientes etapas que componen el abastecimiento de agua no es trivial. En primer lugar, porque debe basarse en la calidad inicial del agua, y luego, la tecnología a aplicar depende de los recursos disponibles (energía e infraestructuras principalmente). La capacidad de escalar las infraestructuras y los métodos de tratamiento son esenciales para poder atender las necesidades propias de una emergencia, que varía, y deben contemplar desde soluciones individuales hasta el abastecimiento a gran escala.

Otra lección ha sido interiorizar que, pese a dichas dificultades, la gestión del agua es básica para cualquier actividad humana. Una persona no puede sobrevivir más allá de siete días sin acceso a agua de calidad, aunque a partir del tercer día las consecuencias ya son devastadoras. Además de dar vida, el agua puede quitar la vida, y lo puede hacer al ser un medio capaz de albergar muchas clases de vida en ella, entre ellas vectores o transmisores de enfermedades. De ahí la importancia ineludible del concepto WASH. Aunque el enfoque principal de este trabajo haya sido el abastecimiento de agua, es importante resaltar la relevancia del enfoque WASH (Agua, Saneamiento e Higiene) en cualquier contexto, y en concreto en los campos de refugiados. Por eso la implementación de prácticas adecuadas de WASH es crucial para prevenir la propagación de enfermedades y mantener un entorno saludable.

En el caso práctico que he analizado y desarrollado implementé una propuesta de diseño para el abastecimiento de agua en un campo de refugiados, utilizando dos fuentes de agua con características diferentes. Reflexionando sobre todo el proceso diseñado a posteriori, soy consciente de lo complicado que es aplicar tecnología del abastecimiento del agua en contextos donde la energía, los insumos necesarios para el tratamiento (coagulantes, floculantes, cloro, etcétera), materiales e infraestructuras, etc.; dependen de una logística que debe implementarse y mantenerse en un entorno cambiante, culturalmente diferente y marcado por la urgencia de la necesidad, y a la vez, por la escasez del recurso que se quiere proporcionar: el agua.

La propuesta que hice tiene muchas limitaciones, que van más allá de la variabilidad inherente a la calidad del agua y los desafíos relacionados con proporcionar y transportar toda la infraestructura necesaria en situaciones de emergencia, y que, por tanto, limita las opciones de tecnología a aplicar en el proceso de abastecimiento. He observado, además de todo lo anterior, que la efectividad del proceso abastecimiento del agua también pasa por su comprensión, cuidado y puesta en valor dentro del campo y en las comunidades locales cercanas. Con lo cual se hace imprescindible además del desarrollo técnico, generar una conciencia colectiva y en común sobre la labor realizada.

Para futuros trabajos o desarrollos sería bueno investigar nuevas tecnologías de potabilización que utilizasen materiales locales y consumieran menos energía y recursos. Además, creo que es necesario diseñar sistemas de distribución más flexibles y adaptados a las necesidades específicas de cada lugar. La logística debe estar, por tanto, optimizada para garantizar un suministro eficiente y equitativo de agua.



Desde la perspectiva de género, creo que es esencial garantizar que las instalaciones de agua sean accesibles y seguras para mujeres y niñas, ya que a pesar de que se intente asegurar el acceso universal y digno al agua, muchas veces ellas asumen cargas extras como los cuidados, que hacen que se vea perjudicado su acceso al agua u otras facetas como el tiempo de higiene.

Añadir, que me hubiera gustado tener más datos reales sobre campos de refugiados en cuanto al abastecimiento de agua, y haber podido comparar este caso práctico, o haber trabajado en base a ellos. Otro de los posibles desarrollos que plantearía en un futuro sería analizar las diferentes tecnologías aplicadas en el abastecimiento y su sostenibilidad en relación con el tiempo de operación del campo y su contexto (demografía, clima, factores políticos, factores sociales, etcétera).

En cuanto a trabajos futuros, sería conveniente desarrollar junto al abastecimiento, la gestión de aguas residuales.

Por último, al ser la gestión del agua en campamentos de refugiados un desafío tan complejo, y que varía significativamente también según el entorno climático, quisiera ilustrar esta variabilidad de manera somera. Para ello, en la tabla siguiente muestro tres escenarios posibles donde el clima es central en el contexto: un campamento en una región semiárida (como Aguas Claras), uno en un entorno tropical lluvioso y otro en una zona montañosa fría, y muestro, a partir de lo aprendido en el caso, qué desafíos y adaptaciones serían necesario abordar en relación con el abastecimiento del agua.

Escenario	Características climáticas	Desafíos principales	Adaptaciones necesarias
Semiárido (Aguas Claras)	Temperaturas altas, precipitaciones escasas	Escasez de agua, sequías	Recolección de agua de lluvia, eficiencia en el uso, sistemas de riego eficientes
Tropical lluvioso	Altas temperaturas, humedad elevada, abundantes precipitaciones	Inundaciones, enfermedades transmitidas por el agua	Sistemas de drenaje eficientes, tratamiento del agua, control de vectores
Montañoso frío	Bajas temperaturas, nevadas frecuentes, terreno accidentado	Acceso al agua limitado, tuberías congeladas, riesgo de avalanchas	Aislamiento de tuberías, almacenamiento de agua, vías de acceso despejadas

**Tabla 4.** Escenarios climáticos y desafíos para los campos de refugiados. Fuente: Elaboración propia.

En regiones semiáridas, por su régimen pluviométrico, podríamos implementar un sistema de captación de agua escalable, combinándolo con técnicas de desalación a pequeña escala para aprovechar las fuentes salobres usuales en esas áreas. La distribución del agua podría realizarse a través de cisternas comunitarias (depósitos para garantizar el suministro en épocas de escasez) asegurando un acceso equitativo. Además, la implementación de sistemas de riego por goteo en los huertos comunitarios, si se desarrollasen, optimizaría el uso del agua para la producción de alimentos locales.

En zonas tropicales lluviosas, donde las inundaciones son frecuentes, se requiere de un sistema de drenaje para que no se formen acumulaciones de agua en la superficie (además así se evita el contagio



de enfermedades al andar descalzo en el agua, WASH), combinado con la construcción de pozos profundos para garantizar un suministro de agua subterránea limpia.

En regiones montañosas muy frías, el desafío principal es garantizar el acceso al agua durante todo el año. Se podrían construir sistemas de captación de agua de deshielo, combinados con el almacenamiento en tanques aislados. Para evitar la congelación de las tuberías, se utilizarían materiales aislantes y se implementarían sistemas de calefacción. Además, se establecerían rutas de acceso seguras para garantizar la distribución del agua en condiciones climáticas adversas.

Quizá, con esos indicadores se podrían crear protocolos o indicadores en el abastecimiento del agua que recogieran esta variabilidad y plantear prioridades a la hora del abastecimiento de cara a la logística.

Además, por lo analizado y desarrollado durante el TFM, queda patente, en cuanto al abastecimiento del agua, la importancia de tener una planificación proactiva que tenga en cuenta ciertas realidades. Estas realidades pasan por la colaboración constante con las comunidades locales de acogida, la educación y la sensibilización en WASH, el uso de tecnologías apropiadas para todas las etapas que componen el proceso de abastecimiento, y la evaluación continua. Estas lecciones trascienden el ámbito específico del campo de refugiados y son aplicables a la gestión del agua a nivel global, especialmente en un contexto de cambio climático y crecimiento de los conflictos.



## 5. Bibliografía

- (s.f.). Obtenido de <https://www.labprocess.es/blog/sistema-de-optimizacion-de-la-floculacion-y-la-coagulacion-en-plantas-de-tratamiento-de-aguas>
- (s.f.). Obtenido de <https://www.emergency-wash.org/water/es/tecnologias/technology/slow-sand-filtration>
- (s.f.). Obtenido de <https://unicat.msf.org/cat/product/15721>
- (CICR), C. I. (2022). Obtenido de <https://www.icrc.org>
- (EPA), U. E. (2017). Obtenido de <https://www.epa.gov/wqs-tech/water-quality-standards-handbook>
- (IASC), I.-A. S. (2007). Obtenido de <https://interagencystandingcommittee.org/sites/default/files/migrated/2020-11/IASC%20Guidelines%20on%20Mental%20Health%20and%20Psychosocial%20Support%20in%20Emergency%20Settings%20%28English%29.pdf>
- (IOM)., I. O. (2023). *WASH Programming: Emergency Manual*. Obtenido de <https://emergencymanual.iom.int/>
- (2024). Obtenido de <https://www.uganda-refugee-report-2024>
- Abdiyev, K. A. (2023). Review of Slow Sand Filtration for Raw Water Treatment with Potential Application in Less-Developed Countries. *Water*, 15(11), NA-NA.
- Abikova, J. (2023). Building a Refugee Camp: The Importance of Planning and Logistics. *SAGE Publications: SAGE Business Cases Originals*.
- ACNUR. (2019). Obtenido de <https://www.acnur.org/es-es/noticias/historias/luchando-contra-la-escasez-de-agua-en-los-campamentos-de-refugiados-en-coxs>
- ACNUR. (2022). *Diez datos sobre el campamento de refugiados de Za'atari a diez años de su apertura*. Obtenido de <https://www.acnur.org/es-es/noticias/historias/diez-datos-sobre-el-campamento-de-refugiados-de-zaatari-diez-anos-de-su-apertura>
- ACNUR. (2023). Obtenido de <https://www.acnur.org/media/informe-semestral-de-tendencias-de-2023>
- Adam Biran 1, W.-P. S. (2012). Hygiene and sanitation practices amongst residents of threelong-term refugee camps in Thailand, Ethiopia and Kenya. *Tropical Medicine and International Health*.
- Agudo, A. (2024). Obtenido de <https://elpais.com/planeta-futuro/2024-05-28/los-refugiados-saharauis-al-borde-de-la-tragedia-humanitaria-por-falta-de-comida.html>
- Aho, I. M. (2012). A new water treatment system using Moringa oleifera seed. *Am J Sci Ind Res*, 3(6).
- Akkaya, E. (2017). The refugee camp management: a general framework and clean water design. Turquía.
- Alazzeh, S. G.-A. (2014). Impacts of intermittent water supply on water quality in two Palestinian refugee camps. *Water*, 11(4).
- Albu, D. (2019). *UNHCR Global trends report: forced displacement in 2018*. Drepturile Omului.
- Aluminium Manufacturers. (n.d.). *Uses Of Aluminum Sulfate*. Retrieved from Uses Of Aluminum Sulfate: <https://www.aluminummanufacturers.org/aluminum-sulfate/uses-of-aluminum-sulfate/>
- Amaya, L. F. (2023). Obtenido de <https://noticias.uca.edu.sv/investigacion/acceso-al-agua-detras-de-los-porcentajes-globales-se-esconden-desigualdades>
- Amjad, Z. (1993). *Reverse Osmosis: Membrane Technology, Water Chemistry and Industrial Applications*. Kluwer Academic Publishers.
- Ayham Dalal, A. D. (2018). Planning the Ideal Refugee Camp? A Critical Interrogation of Recent. *Urban Planning*, 68.



- Backer, H. D. (2017). Water Disinfection. *The Travel and Tropical Medicine Manual*.
- Bank, W. (2012). Retrieved from <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/4275#>
- BARAHONA, S. P. (2003). *EL ESTATUTO DE "REFUGIADO EN LA CONVENCION DE GINEBRA DE 1951*. Redur nº1.
- Barnett, J. &. (2007). Climate Change, hazards and vulnerability. *Cambridge University Press*.
- Beecher, J. A. (1989). Compendium on water supply, drought, and conservation. *National Regulatory Research Institute*, 89(15).
- Boisson, S. S. (2009). Randomized controlled trial in rural Ethiopia to assess a portable water treatment device. *Environmental science & technology*, 43(15).
- Brikké, F. B. (2003). Obtenido de <https://iris.who.int/handle/10665/42538>
- Cedrick Gijbsbertsen, M. K. (2017). Water management and irrigation near Za'atari Refugee Camp, Jordan. *Sam Sam water*.
- Center, J. D. (2024). *Impact of Refugees on Hosting Communities in Ethiopia: A Social Analysis*. Obtenido de <https://newsroom.iza.org/en/archive/research/challenges-and-successes-in-refugee-integration/>
- Chimni, B. S. (2004). FROM RESETTLEMENT TO INVOLUNTARY REPATRIATION: TOWARDS A CRITICAL HISTORY OF DURABLE SOLUTIONS TO REFUGEE PROBLEMS. *Refugee Survey Quarterly*, 23(3), pp. 55-73.
- Coerver, A. E. (2021). Compendium of water supply technologies in emergencies. Retrieved from <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/4441>
- Coniglio, N. D. (2022). The geography of displacement, refugees' camps and social conflicts. *World Bank*.
- Corsellis, T. &. (2005). Transitional Settlement: Displaced Populations. *Oxfam Publishing*.
- Cotteril Civils. (n.d.). *200,000 litre Galvanised Steel Water Tank*. Retrieved from 200,000 litre Galvanised Steel Water Tank: <https://www.cotterillcivils.co.uk/products/200-000-litre-galvanised-steel-water-tank>
- Cuny, F. C. (1977). Refugee camps and camp planning: the state of the art. *Disasters*, 1(2), 125-143.
- Davis, J. &. (1992). *Engineering in Emergencies: A Practical Guide for Relief Workers*. Londres: ITDG Publishing.
- Denis Sullivan, S. T. (2014). Security and Resilience Among Syrian Refugees in Jordan. *Middle East Report Online*. Obtenido de <https://merip.org/2014/10/security-and-resilience-among-syrian-refugees-in-jordan/>
- Desarrollo., P. D. (s.f.). Obtenido de <https://estrategia2030.es/objetivo-6-agua-limpia-y-saneamiento/>
- Dewangan, S. K. (2023). Investigating the impact of pH levels on water quality: an experimental approach. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9.
- Donald Cullivan, B. T. (1988). *GUIDELINES FOR INSTITUTIONAL ASSESSMENT*. Washington, DC .
- e.V., D. I. (2018). Sanitary tapware - Mechanical mixing valves (PN 10) - General technical specifications (DIN EN 817:2018-01). Beuth Verlag GmbH.
- Ellis, K. &. (1985). Slow sand filtration. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 15(4).
- EOM. (s.f.). Obtenido de <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/cuantos-refugiados-hay-en-el-mundo/>



- Esfera, A. (2018). Obtenido de <https://spherestandards.org/wp-content/uploads/El-manual-Esfera-2018-ES.pdf>
- foundation, W. e. (2023). Obtenido de <https://www.watereducation.org/potable-water>
- france24. (s.f.). Obtenido de <https://www.france24.com/es/%C3%A1frica/20230914-comienzan-a-instalar-servicios-de-agua-y-luz-en-campamentos-de-refugiados-en-marruecos>
- fronteras, M. s. (2023). Obtenido de <https://www.msf.es/noticia/chad-la-crisis-del-agua-adre-pone-peligro-la-vida-los-refugiados>
- García, R. N. (2021). Drinking water provision and quality at the Sahrawi refugee camps in Tindouf (Algeria) from 2006 to 2016. *Science of the Total Environment*, 780, 146504.
- Gatrell, P. (2013). *The Making of the Modern Refugee*. Oxford University Press .
- German WASH Network. (2021). *Compendium of Water Supply Technologies in Emergencies*. Retrieved from Compendium of Water Supply Technologies in Emergencies: [https://www.washnet.de/wp-content/uploads/2021/09/GWN\\_Emergency-Water-Compendium\\_2021\\_new.pdf](https://www.washnet.de/wp-content/uploads/2021/09/GWN_Emergency-Water-Compendium_2021_new.pdf)
- Gijsbertsen, C. K. (2017). Water management and irrigation near Za'atari Refugee Camp–Jordan. *SamSam Water, VNG International and City of Amsterdam*.
- Gleick, P. H. (2014). Water, Drought, Climate Change, and Conflict in Syria. *American Meteorological Society*.
- González, I. d. (2024). Apuntes del Máster en Gestión de Desastres.
- Hadafi, F. &. (2020). Designing refugees' camps: temporary emergency solutions, or contemporary paradigms of incomplete urban citizenship? Insights from Al Za'atari. *City, Territory and Architecture*,. 47-49. doi:<https://doi.org/10.1186/s40410-019-0114-y>
- Haimes, Y. Y. (1998). Reducing vulnerability of water supply systems to attack. *Journal of infrastructure systems*, 4.
- Hand, S. &. (2021). Electrochemical disinfection in water and wastewater treatment: identifying impacts of water quality and operating conditions on performance. *Environmental science & technology*, 6(55), 3470-3482.
- iagua.es*. (s.f.). Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-ultrafiltracion>
- Instituto Nacional de Estadística. (2024). *Estadística sobre el Suministro y Saneamiento del Agua. Año 2022*. Obtenido de Estadística sobre el Suministro y Saneamiento del Agua. Año 2022: [https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176834&menu=ultiDatos&idp=1254735976602](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176834&menu=ultiDatos&idp=1254735976602)
- IPCC. (2021). *Contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Obtenido de [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WG1\\_SPM\\_Spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf)
- IZA. (2023). *Impact of Refugees on Hosting Communities in Ethiopia: A Social Analysis*. Obtenido de [newsroom.iza.org](https://newsroom.iza.org)
- Karanis, P. K. (2007). Waterborne parasitic protozoa: A review of the current situation. *Journal of Water and Health*, 5(1).
- Karsu, O. K. (2019). The refugee camp management: a general framework and a unifying decision-making model. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 131-150.
- Kelman, I. (2014). *Climate change and displacement; Multidisciplinary perspectives*. Routledge.
- Krafft, C. S. (2018). Syrian refugees in Jordan: Demographics, livelihoods, education, and health. (U. R. Corporation, Ed.) *In Economic research forum working paper series*.
- Lasheras, B. (2008). El papel de las Fuerzas Armadas en misiones humanitarias de respuesta a catástrofes en el exterior. *Fundación Alternativas*.
- Libertz, J. (2023). *Water Distribution Systems and Operations*. *Workforce LibreTexts*.



- Lindovsky, M. &. (2015). Water system management in emergency situations. *Journal of Geological Resource and Engineering*, 3.
- Loescher, G. (2001). *The UNHCR and World Politics: A perilous path*. OUP Oxford.
- Loo, S. L. (2012). Emergency water supply: a review of potential technologies and selection criteria. *Water research*, 46(10).
- Malkki, L. H. (1995). *Purity and Exile Cosmology among Hutu Refugees in Tanzania*. The University of Chicago Press.
- Manuel Ortega de Miguel, Y. F. (2010). *Manual para la implementación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Martin Christopher, P. T. (2011). *Humanitarian Logistics: Meeting the Challenge of Preparing for and Responding to Disasters*. Kogan Page Publishers.
- Meneses, R. (2017). EL CAMPO DE REFUGIADOS DE ZAATARI: UNA NUEVA FORMA DE GESTIONAR LA AYUDA HUMANITARIA. (IEEE.ES, Ed.) Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7639130.pdf>
- Moreira, V. R. (2024). Integrating reverse osmosis to a conventional river water treatment plant as a strategy to produce drinking water after mining dam rupture events: a case study. *Environmental Technology*.
- Nappi, M. M. (2015). Disaster management: hierarchical structuring criteria for selection and location of temporary shelters. *Natural Hazards*(75).
- OCHA. (s.f.). Obtenido de <https://www.unocha.org/we-coordinate>
- OCHA. (s.f.). *Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios. (2023). What We Do. OCHA*. . Obtenido de <https://www.unocha.org/our-work/coordination>
- OMS, U. y. (2017). *Progress on drinking water, sanitation and hygiene*.
- Organization, W. H. (2018). WHO water, sanitation and hygiene strategy 2018-2025. (No. *WHO/CED/PHE/WSH/18.03*).
- Oturan, M. A. (2014). Advanced oxidation processes in water/wastewater treatment: principles and applications. *Critical reviews in environmental science and technology*, 23(44), 2577-2641.
- Oxfam. (2012). *Technical Guidelines On Water Trucking in Drought Emergencies*. Retrieved from Technical Guidelines On Water Trucking in Drought Emergencies: <https://www.oxfamwash.org/water/water-trucking/tbn13-water-trucking-in-drought-emergencies-070612-en.pdf>
- OXFAM. (2020). *Guidelines for Bulk Water Treatment in Emergencies*. Retrieved from Guidelines for Bulk Water Treatment in Emergencies: <https://www.oxfamwash.org/water/bulk-water-treatment/Oxfam-Guidelines-Bulk-Water-Treatment-2020.pdf>
- Oxfam Supply Center. (2024). *Oxfam Tank Kit*. Retrieved from Oxfam Tank Kit: <https://supplycentre.oxfam.org.uk/product/oxfam-tank-kit-95-ml/>
- Oxfam Supply Center. (2024). *Water Testing Kit, Microbiological and Chemical*. Retrieved from Water Testing Kit, Microbiological and Chemical: <https://supplycentre.oxfam.org.uk/product/water-testing-kit-mb-and-ch/>
- Paniagua, J. M. (2023). *Agua: historia, tecnología y futuro*. Guadalmezán.
- Peter-Varbanets M, Z. C. (2009). Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Res*.
- Ping Chu H, L. X. (2005). Membrane fouling in a membrane bioreactor (MBR): sludge cake formation and fouling characteristics. *Biotechnol Bioeng*.
- Prakash, N. B. (2014). Waste water treatment by coagulation and flocculation. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*. 3(2).
- R.Ahmed, Z. (2008). Acceso al agua en los campamentos saharauís de refugiados/as saharauis. *Agua para la vida. Tribuna del agua*. Zaragoza.



- Salehin, S. Z. (2011). Designing of an Emergency Energy Module for relief and refugee camp situations: Case study for a refugee camp in Chad-Sudan border. *In 2011 World Congress on Sustainable Technologies (WCST)*.
- Sikder, M. M. (2020). Delivering drinking water by truck in humanitarian contexts: results from mixed-methods evaluations in the Democratic Republic of the Congo and Bangladesh. *Environmental science & technology*, 8.
- SK, I. (s.f.). Obtenido de <https://skipumps.com/mark3/>
- Sobsey, M. D. (2008). Point of use household drinking water filtration: A practical, effective solution for providing sustained access to safe drinking water in the developing world. *Environmental Science & Technology*, 42(12).
- Sovacool, B. K. (2012). The Importance of Energy Access in Refugee Camps: Some Insights from the Field. *Energy Policy*(44). doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.018>
- Sphere Association. (2018). *Proyecto Esfera: Carta Humanitaria y Normas Mínimas para la Respuesta Humanitaria*. Obtenido de Proyecto Esfera: Carta Humanitaria y Normas Mínimas para la Respuesta Humanitaria: <https://spherestandards.org/wp-content/uploads/El-manual-Esfera-2018-ES.pdf>
- Stevenson, R. &. (2011). Challenges in Managing Refugee Camps: A Study on the Logistical, Social, and Geographical Issues. *Journal of Refugee Studies*, 24(2), 125-138.
- sypysa.com. (s.f.). Obtenido de <https://sypysa.com/blog/funcion-membranas-osmosis-inversa/>
- Tansel, B. (2008). New technologies for water and wastewater treatment: A survey of recent patents. *Recent patents on chemical engineering*, 1(1).
- Terrón-López, M. J.-Q.-A.-E. (2020). Preparing sustainable engineers: A project-based learning experience in logistics with refugee camps. *Sustainability*, 12(12).
- Uganda, G. o. (n.d.). Retrieved from wfp.org: <https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000102110/download>
- UHNCR. (2020, Octubre). *Handbook for emergencies*. Retrieved from <https://isfcolombia.uniandes.edu.co/images/documentos/handbook%20for%20emergencies.pdf>
- UN. (2019). Obtenido de <https://news.un.org/en/story/2019/06/1040561>
- UNHCR. (1992). *UNHCR Water Manual for Refugee Situations*. Obtenido de [https://ec.europa.eu/echo/files/evaluation/watsan2005/annex\\_files/UNHCR/UNHCR5%20-%20Water%20Supply%20in%20Refugee%20Situations.pdf](https://ec.europa.eu/echo/files/evaluation/watsan2005/annex_files/UNHCR/UNHCR5%20-%20Water%20Supply%20in%20Refugee%20Situations.pdf)
- UNHCR. (2005). Obtenido de [https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/unhcr\\_water\\_brochure.pdf](https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/unhcr_water_brochure.pdf)
- UNHCR. (2020). *UNHCR.org*. Obtenido de <https://www.unhcr.org/sites/default/files/legacy-pdf/640711644.pdf>
- UNHCR. (2022). *UNHCR Emergency Handbook*. Obtenido de <https://emergency.unhcr.org/>
- UNHCR. (2024). *Agua, saneamiento e higiene en situaciones de emergencias manual*. Obtenido de <https://emergency.unhcr.org/es/asistencia-de-emergencia/agua-saneamiento-e-higiene/agua-saneamiento-e-higiene-en-situaciones-de-emergencia>
- UNHCR-ACNUR. (2023). Obtenido de [https://www.acnur.org/es-es/tendencias-globales?\\_gl=1\\*1wcowur\\*\\_rup\\_ga\\*MTY1MDMzMzMDQyOS4xNzA5MTUyMjY5\\*\\_rup\\_ga\\_EVDQTJ4LmYy\\*MTcyMDQzMTQ0NS40LjAuMTcyMDQzMTQ0NS42MC4wLjA.\\*\\_gcl\\_au\\*ODYyNzkyMzA5LjE3MjAzNzQ5MTc.\\*\\_ga\\*MTY1MDMzMzMDQyOS4xNzA5MTUyMjY5\\*\\_ga\\_X2YZPJ1XWR\\*MTcyMDQ](https://www.acnur.org/es-es/tendencias-globales?_gl=1*1wcowur*_rup_ga*MTY1MDMzMzMDQyOS4xNzA5MTUyMjY5*_rup_ga_EVDQTJ4LmYy*MTcyMDQzMTQ0NS40LjAuMTcyMDQzMTQ0NS42MC4wLjA.*_gcl_au*ODYyNzkyMzA5LjE3MjAzNzQ5MTc.*_ga*MTY1MDMzMzMDQyOS4xNzA5MTUyMjY5*_ga_X2YZPJ1XWR*MTcyMDQ)
- UNHCR. (2007). *UNHCR Handbook for Emergencies*. Retrieved from UNHCR Handbook for Emergencies:



[https://www.unscn.org/web/archives\\_resources/files/Handbook\\_for\\_emergencies\\_3rd\\_edition.pdf](https://www.unscn.org/web/archives_resources/files/Handbook_for_emergencies_3rd_edition.pdf)

- UNICEF. (s.f.). Obtenido de <https://www.unicef.org/es/investigacion-e-informes>
- UNICEF & WHO. (2021). *Progress on WASH in health care facilities 2000–2021: special focus on WASH and infection prevention and control*. (s.f.). Obtenido de <https://ceh.unicef.org/events-and-resources/knowledge-library/progress-wash-health-care-facilities-20002021-special-focus>
- UNICEF. (2016). *UNICEF Strategy for Water, Sanitation and Hygiene (2016-2030)*. United Nations Children's Fund. Obtenido de <https://www.unicef.org/media/91266/file/UNICEF-Strategy-for-WASH-2016-2030.pdf>
- UNICEF. (2017). *Estrategia de Agua, saneamiento e higiene (2016-2030)*.
- UNICEF. (2018). *Agua, saneamiento e higiene en las escuelas. Informe de línea de base mundial 2018*.
- UNICEF. (s.f.). *Agua, saneamiento e higiene (WASH) Unicef*. Obtenido de <https://www.unicef.org/es/agua-saneamiento-higiene>
- unicef. (s.f.). *Water, sanitation and hygiene (WASH) in emergencies*. Obtenido de <https://www.unicef.org/wash/emergencies>
- Vivar, M. P. (2005). Drinking-Water Access and Health in Refugee Camps. *Handbook of Famine, Starvation, and Nutrient Deprivation*, 469-488.
- Weima, Y. &. (2019). Managing displacement: negotiating transnationalism, encampment and return. In *Handbook on critical geographies of migration*, pp. 30-44.
- Wekesa, M. &. (2009). A Review of the Status of Emergency Water Trucking in the Arid and Semi Arid Districts of Kenya. *Financed by ECHO, commissioned by FAO for the Water and Environmental Sanitation Coordination*.
- WHO. (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/9789241548151>
- WHO. (2017). Obtenido de <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- WHO, U. &. (2018). *Drinking water, sanitation and hygiene in schools: Global baseline report 2018*. Obtenido de <https://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/5941>
- WHO/OMS. (2011). *Guías para la calidad de consumo de agua humano*. Obtenido de <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1>
- Wikiwater. (s.f.). Obtenido de <https://wikiwater.fr/E37-Presentacion-de-algunos-de-los-modelos-de-bombas-de-mano-mas-utilizados>
- World Health Organization, &. U. (2023). *Progress on WASH in health care facilities 2000–2021: special focus on WASH and infection prevention and control*. (who, Ed.)



## 6. Tabla de ilustraciones

<b>Ilustración 1.</b> En esta imagen se pueden observar datos de 2020 sobre la situación de los refugiados en el mundo, destacándose que, en el presente siglo, la tendencia es claramente al alza. (EOM, s.f.).	3
<b>Ilustración 2.</b> Sistemas de clústeres junto con las diferentes fases de la emergencia permiten diseñar la logística (OCHA, s.f.).	6
<b>Ilustración 3.</b> Se muestra la unidad básica de ordenamiento y cómo se va escalando mientras la logística y la ayuda humanitaria lo permitan. (Ayham Dalal, 2018).	6
<b>Ilustración 4.</b> Se muestra como el campo de refugiados de Zaatari va desestabilizándose a medida que los refugiados generan sus propias dinámicas diarias sin seguir un orden al no recibir ayuda humanitaria que permita cubrir necesidades básicas. (Ayham Dalal, 2018).	7
<b>Ilustración 5.</b> Se muestran datos sobre la situación de refugiados en el mundo por categorías (ACNUR, 2023, pág. 2).	8
<b>Ilustración 6.</b> Clasificación de distintas tipologías de refugiados y su representación relativa cuantitativa (UNHCR-ACNUR, 2023, pág. 3).	8
<b>Ilustración 7.</b> Imagen que muestra la población desplazada de manera forzada y el impacto del cambio climático sobre dichos desplazamientos. La mayoría de las personas que se desplazan debido a los efectos adversos del cambio climático y a desastres permanecen dentro de su propio país, aunque en algunos casos huyen y cruzan fronteras. (UNHCR-ACNUR, 2023, pág. 24).	9
<b>Ilustración 8.</b> Infografía que muestra la importancia del concepto WASH, y como la gestión de los actores involucrados exige de una acción conjunta al estar interrelacionados (Esfera, 2018).	10
<b>Ilustración 9.</b> Se muestra la ruta y vía de transmisión de enfermedades vía higiene e hídrica, de ahí la importancia de la higiene personal, y, por tanto, la importancia del acceso al agua en condiciones óptimas (Vivar, 2005).	13
<b>Ilustración 10.</b> Esquema de la relación multifactorial y bidireccional de las causas y consecuencias de los problemas en el suministro de agua, saneamiento e higiene junto con los aspectos nutricionales y de salud (Vivar, 2005).	13
<b>Ilustración 11.</b> En el eje Y hay una serie de indicadores WASH, mientras que en el eje X se muestran los campamentos de refugiados. Con la gama de colores (de menor a mayor intensidad) se visualiza el porcentaje de implementación de WASH según el indicador que se considere (Vivar, 2005).	14
<b>Ilustración 12.</b> Esquema de las diferentes fuentes de agua disponible, el análisis de las fuentes de agua disponibles es fundamental, y de ella dependen las demás.	17
<b>Ilustración 13.</b> Esquema de la bomba de extracción Mark III, que puede ser manual o motorizada, y puede bombear hasta una profundidad de 50 metros, es evolución de la Mark II, una bomba manual de bombeo muy extendida (SK, s.f.).	18
<b>Ilustración 14.</b> Esquema del proceso de coagulación-floculación. (htt3)	20
<b>Ilustración 15</b> (htt3)	20
<b>Ilustración 16.</b> (Abdiyev, 2023, pág. 7)	21
<b>Ilustración 17.</b> Las dos fases que están en contacto con la membrana usada en la UF son líquidas, y se encuentran a distinta presión hidrostática. Ciertos componentes de una de las fases líquidas, la que se encuentra a mayor presión, se transferirán hacia el de baja presión. Las pequeñas partículas disueltas en el líquido pasan a través de la membrana porosa, mientras que las grandes moléculas disueltas, los coloides y los sólidos en suspensión, que no pasan a través de los poros, son retenidos. (iagua.es, s.f.).	22
<b>Ilustración 18.</b> (sypysa.com, s.f.)	23



<b>Ilustración 19.</b> Ejemplo de tanque Oxfam con capacidad de 95 metros cúbicos. (Oxfam Supply Center, 2024).....	25
<b>Ilustración 20.</b> Tabla del Manual de Emergencias de la UNHRC que expone la propuesta de planificación modular para la organización en campamentos de refugiados, partiendo como unidad mínima de cada una de las personas, y agrupándolas en familias, comunidades, bloques, sectores, y finalmente, módulos. (UNHRC, 2007, pp. 250-252).....	33
<b>Ilustración 21.</b> (UNHRC, 2007, p. 214). .....	34
<b>Ilustración 22.</b> Relación del número de litros de agua diarios totales por persona mínimos para las personas, además de desglosados en tres grandes categorías, consumo directo, higiene, y cocina (Sphere Association, 2018, pág. 122). .....	35
<b>Ilustración 23.</b> Water Testing Kit, Microbiological and Chemical (Oxfam Supply Center, 2024) .	41
<b>Ilustración 24.</b> Tanque Oxfam 11 metros cúbicos. (Oxfam Supply Center, 2024).....	41
<b>Ilustración 25.</b> Tabla-resumen. Fuente: Elaboración propia. ....	46
<b>Ilustración 26.</b> Esquema básico de la microfiltración (German WASH Network, 2021, p. 102). ...	60
<b>Ilustración 27.</b> En esta se muestra el tamaño que cada filtro es capaz de atrapar relacionándolo con sustancias conocidas (syypsa.com, s.f.) .....	61
<b>Ilustración 28.</b> Esquema básico de cloración (German WASH Network, 2021, p. 108).....	62
<b>Ilustración 29.</b> Esquema de un camión cisterna que podría usarse en la distribución de agua (German WASH Network, 2021, p. 134). .....	63
<b>Ilustración 30.</b> Esquema de dos depósitos de almacenamiento, a la izquierda, elevado, a la derecha, en superficie (German WASH Network, 2021, p. 140).....	64
<b>Ilustración 31.</b> Esquema de distribución por tuberías (German WASH Network, 2021, p. 144). ...	65
<b>Ilustración 32.</b> Esquema de un sistema de tratamiento de agua por radiación ultravioleta (German WASH Network, 2021, p. 112).....	66
<b>Ilustración 33.</b> Esquema del tratamiento del agua mediante la técnica SODIS (German WASH Network, 2021, p. 170). .....	67
<b>Ilustración 34.</b> Esquema de filtración usando un filtro de cerámica (German WASH Network, 2021, p. 152). .....	68
<b>Ilustración 35.</b> Esquema de una planta de osmosis inversa situada cerca de un río, tras la ruptura de una presa (Moreira, 2024, págs. 1-12). .....	69
<b>Ilustración 36.</b> Esquema del hervido de agua para potabilizar (German WASH Network, 2021, p. 162). .....	70
<b>Ilustración 37.</b> Imagen de un tanque flexible (bladder, tanque cebolla) (htt6).....	71
<b>Ilustración 38.</b> Grifo instalado en los campamentos de desplazados por el terremoto de Marruecos, en Amizmiz (france24, s.f.). .....	72
<b>Ilustración 39.</b> Imagen del sulfato de aluminio, floculante de uso común en el proceso de coagulación del agua (Aluminium Manufacturers) .....	73
<b>Ilustración 40.</b> Tabla que muestra algunos parámetros relativos al agua de abastecimiento en un estadio de estabilidad tras la emergencia, según el manual esfera y según las guías de manuales de UNHCR. (UNHCR, 2005). .....	74
<b>Ilustración 41.</b> En este mapa de dos dimensiones se pueden observar los refugios, comunidades, bloques y el asentamiento, que componen el campamento, Se pueden observar los 20 grifos comunitarios, letrinas, espacios comunes, depósitos de agua y estaciones potabilizadoras junto a cada fuente. Fuente: Elaboración propia. ....	79
<b>Ilustración 42.</b> Esquema del tratamiento de abastecimiento de agua en seis campos de refugiados situados Tindouf (Argelia). Cinco campos de refugiados usan plantas de ósmosis inversa (El Aiun y Awserd en la zona 1; Smara, Rabouini y Boujadour en la zona 2), tras la captación del agua en pozo profundo, mientras que otro no, Dakhla en la zona 3, ya que se considera que los niveles de	



salinidad del agua extraída del pozo son aptos para el consumo humano, y se clora, tras la extracción. Los tres campos usan para la posterior distribución del agua tratada camiones cisterna water trucking. (García, 2021, pág. 4). ..... 80

**Ilustración 43.** Datos de la extracción en las tres zonas de campos de refugiados anteriores (García, 2021, pág. 1)..... 81

## 7. Relación de tablas

**Tabla 1.** Demografía básica del campo de refugiados. .... 32

**Tabla 2.** Elementos logísticos I. Elaboración propia..... 47

**Tabla 3.** Elementos logísticos II. Fuente: Elaboración propia. .... 47

**Tabla 4.** Escenarios climáticos y desafíos para los campos de refugiados. Fuente: Elaboración propia. .... 49

**Tabla 5.** *Se muestra una tabla, que es una adaptación centrada en algunos parámetros, y construida a partir de la extensa información que aparece en (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017) sobre parámetros mínimos para el agua. En concreto en los capítulos 3, 4 y 5, dedicados a contaminantes microbiológicos, químicos y radiactivos.*..... 75

**Tabla 6.** Análisis previo del agua bruta del campamento de refugiados de Aguas Claras obtenida del acuífero..... 76

**Tabla 7.** Análisis del agua tratada del acuífero, ya potable y lista para su posterior distribución, tras el proceso de ultrafiltración, ósmosis inversa y cloración. .... 77

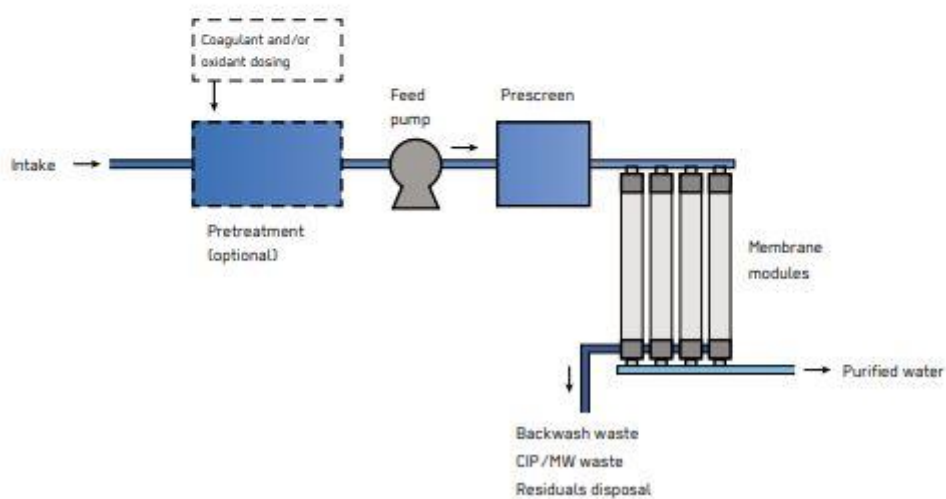
**Tabla 8.** Tabla de parámetros para el agua bruta de la laguna (agua superficial). .... 77

**Tabla 9.** Tabla de parámetros para el agua tratada (potable y lista para su distribución) procedente de la laguna. .... 78

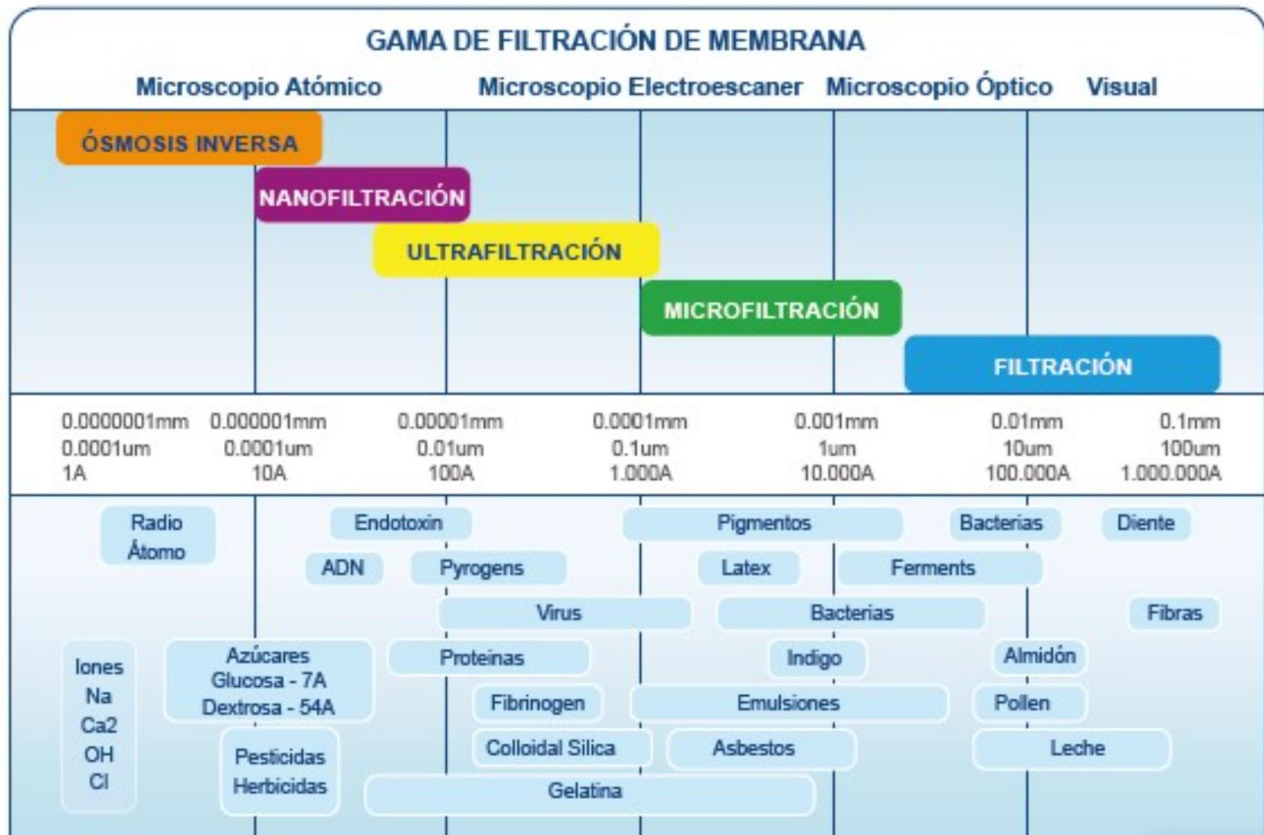
8.Anexo II: Imágenes sobre algunas tecnologías y elementos involucrados en el abastecimiento del agua

## Microfiltration (MF)

Response Phase	Application Level	Management Level	Objectives / Key Features
<ul style="list-style-type: none"> <li>★ Acute Response</li> <li>★★ Stabilisation</li> <li>★★ Recovery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Household</li> <li>★★ Neighbourhood</li> <li>★★ City</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Household</li> <li>★★ Shared</li> <li>★★ Public</li> </ul>	Turbidity removal, pre-treatment and partial pathogen removal
Local Availability	Technical Complexity	Maturity Level	
<ul style="list-style-type: none"> <li>★ Low</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Medium</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★★ High</li> </ul>	



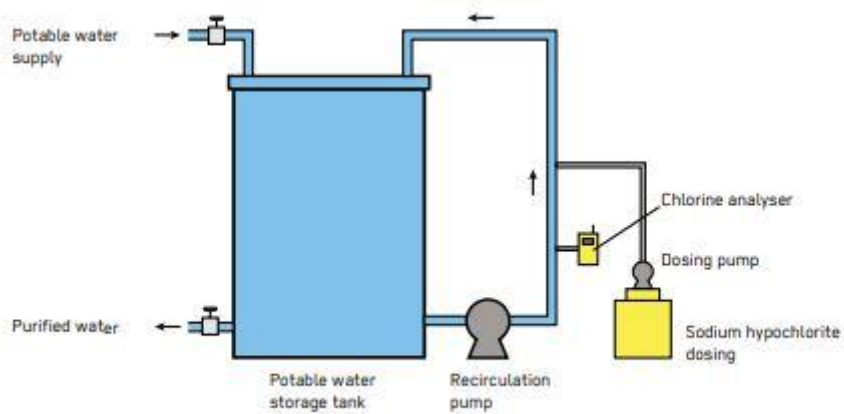
*Ilustración 26. Esquema básico de la microfiltración (German WASH Network, 2021, p. 102).*



*Ilustración 27. En esta se muestra el tamaño que cada filtro es capaz de atrapar relacionándolo con sustancias conocidas (syppsa.com, s.f.)*

## Chlorination

Response Phase	Application Level	Management Level	Objectives / Key Features
<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Acute Response</li> <li>★★ Stabilisation</li> <li>★★ Recovery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Household</li> <li>★★ Neighbourhood</li> <li>★★ City</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Household</li> <li>★★ Shared</li> <li>★★ Public</li> </ul>	Disinfection with residual protection
Local Availability	Technical Complexity	Maturity Level	
<ul style="list-style-type: none"> <li>★★★ High</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Medium</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★★ High</li> </ul>	



*Ilustración 28. Esquema básico de cloración (German WASH Network, 2021, p. 108)*

## Water Trucking

Response Phase	Application Level	Management Level	Objectives / Key Features
<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Acute Response</li> <li>★ Stabilisation</li> <li>Recovery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Household</li> <li>★★ Neighbourhood</li> <li>★ City</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Household</li> <li>★ Shared</li> <li>★★ Public</li> </ul>	Short-term, bulk transport of water using vehicles
Local Availability	Technical Complexity	Maturity Level	
<ul style="list-style-type: none"> <li>★★★ High</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Medium</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★★ High</li> </ul>	



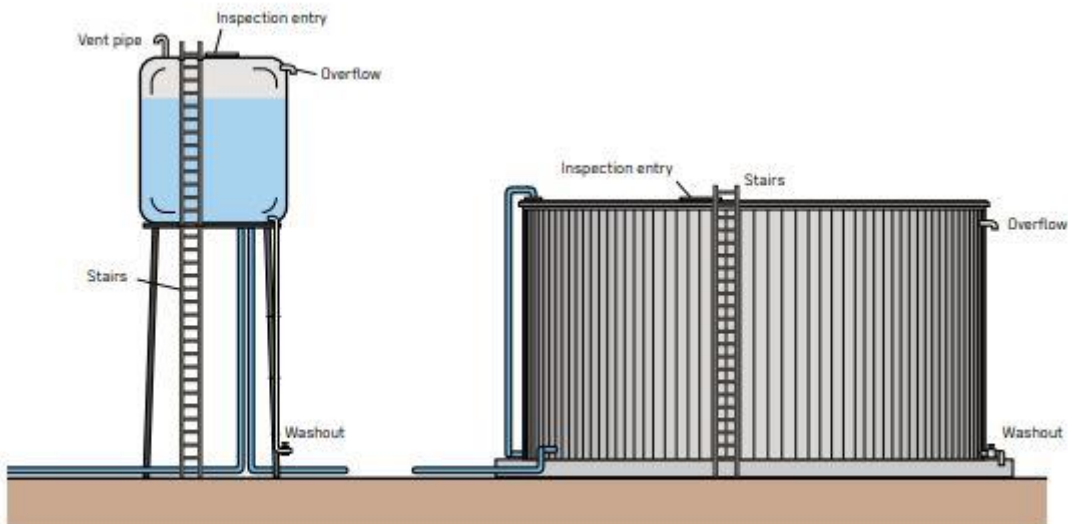
*Ilustración 29. Esquema de un camión cisterna que podría usarse en la distribución de agua (German WASH Network, 2021, p. 134).*

## Water Storage Tank (Long-Term Locally Built)

Response Phase	Application Level	Management Level	Objectives / Key Features
<ul style="list-style-type: none"> <li>★ Acute Response</li> <li>★★ Stabilisation</li> <li>★★ Recovery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Household</li> <li>★★ Neighbourhood</li> <li>★★ City</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Household</li> <li>★★ Shared</li> <li>★★ Public</li> </ul>	Water storage buffer, network pressure generation
Local Availability	Technical Complexity	Maturity Level	
★★★ High	★★ Medium	★★★ High	

ELEVATED STORAGE TANK

GROUND LEVEL STORAGE TANK



*Ilustración 30. Esquema de dos depósitos de almacenamiento, a la izquierda, elevado, a la derecha, en superficie (German WASH Network, 2021, p. 140).*



## Large-Scale Distribution System

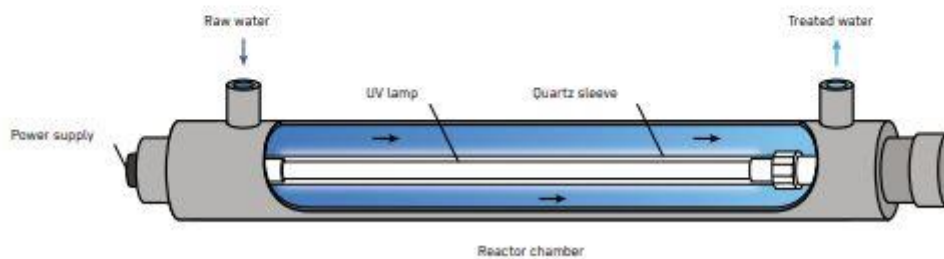
<b>Response Phase</b> Acute Response ★★ Stabilisation ★★ Recovery	<b>Application Level</b> Household ★★ Neighbourhood ★★ City	<b>Management Level</b> Household ★★ Shared ★★ Public	<b>Objectives / Key Features</b> Distribution at large scale using gravity or pumps
<b>Local Availability</b> ★★★ High	<b>Technical Complexity</b> ★★★ High	<b>Maturity Level</b> ★★★ High	



*Ilustración 31. Esquema de distribución por tuberías (German WASH Network, 2021, p. 144).*

## Ultraviolet (UV) Light

<b>Response Phase</b> ★ Acute Response ★★ Stabilisation ★★ Recovery	<b>Application Level</b> ★★ Household ★★ Neighbourhood ★★ City	<b>Management Level</b> ★★ Household ★★ Shared ★★ Public	<b>Objectives / Key Features</b> Disinfection
<b>Local Availability</b> ★★ Medium	<b>Technical Complexity</b> ★★ Medium	<b>Maturity Level</b> ★★★ High	

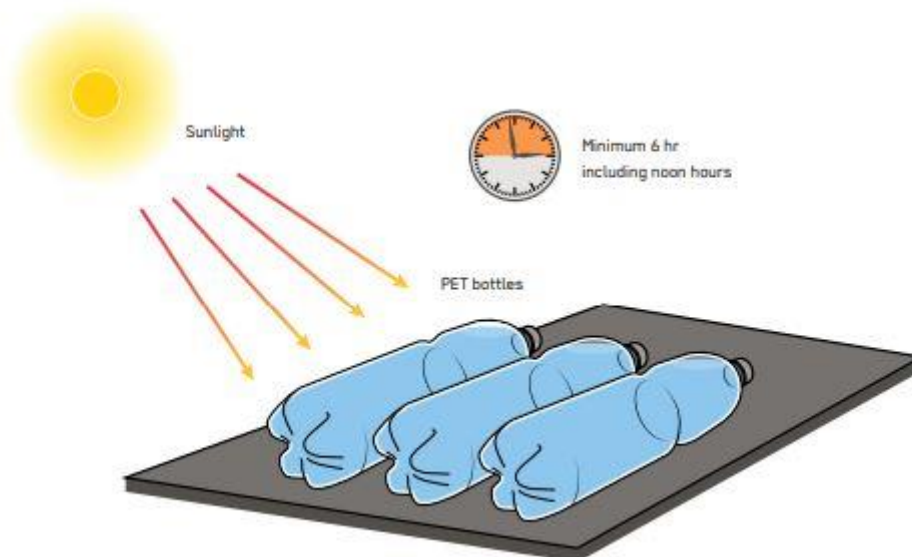


*Ilustración 32. Esquema de un sistema de tratamiento de agua por radiación ultravioleta (German WASH Network, 2021, p. 112).*



## Solar Disinfection (SODIS)

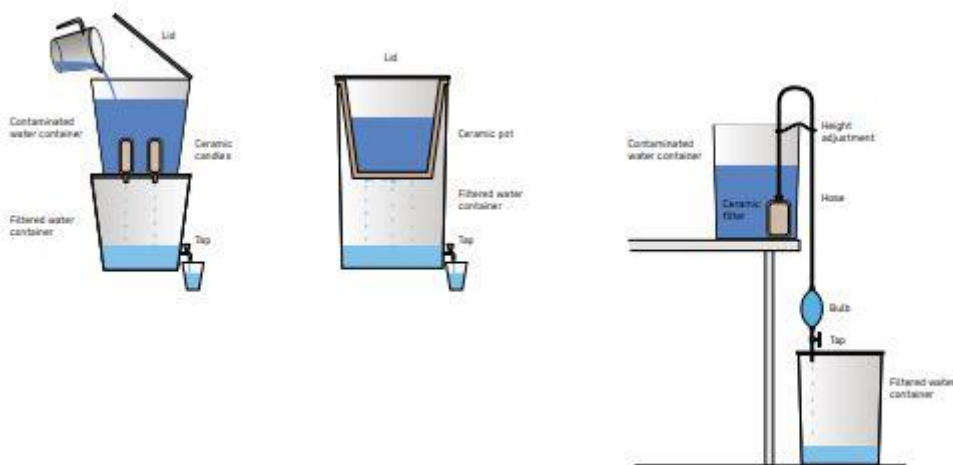
Response Phase	Application Level	Management Level	Objectives / Key Features
<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Acute Response</li> <li>★★ Stabilisation</li> <li>★★ Recovery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Household</li> <li>★★ Neighbourhood</li> <li>City</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Household</li> <li>★ Shared</li> <li>Public</li> </ul>	Point-of-use treatment, water disinfection
Local Availability	Technical Complexity	Maturity Level	
<ul style="list-style-type: none"> <li>★★★ High</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★ Low</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★★ High</li> </ul>	



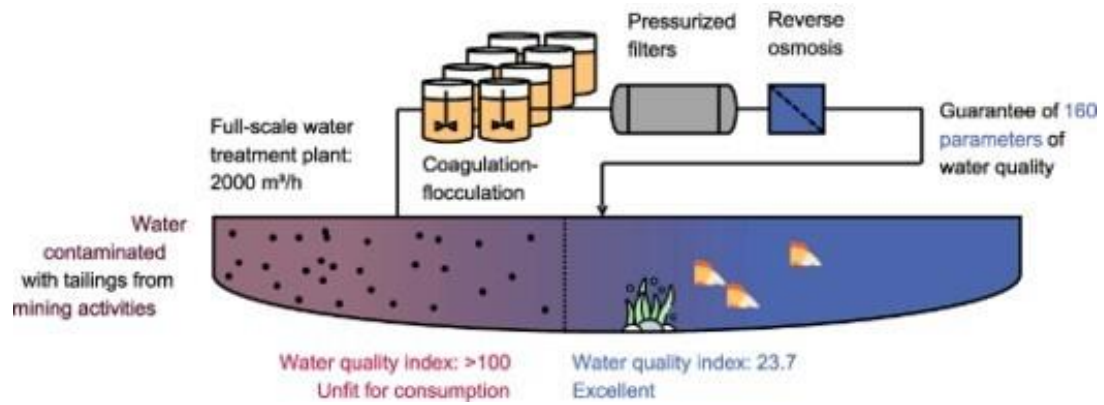
*Ilustración 33. Esquema del tratamiento del agua mediante la técnica SODIS (German WASH Network, 2021, p. 170).*

## Ceramic Filtration

<b>Response Phase</b> ★★ Acute Response ★★ Stabilisation ★★ Recovery	<b>Application Level</b> ★★ Household Neighbourhood City	<b>Management Level</b> ★★ Household Shared Public	<b>Objectives / Key Features</b> Point-of-use treatment, mechanical pathogen removal
<b>Local Availability</b> ★★ Medium	<b>Technical Complexity</b> ★ Low	<b>Maturity Level</b> ★★★ High	



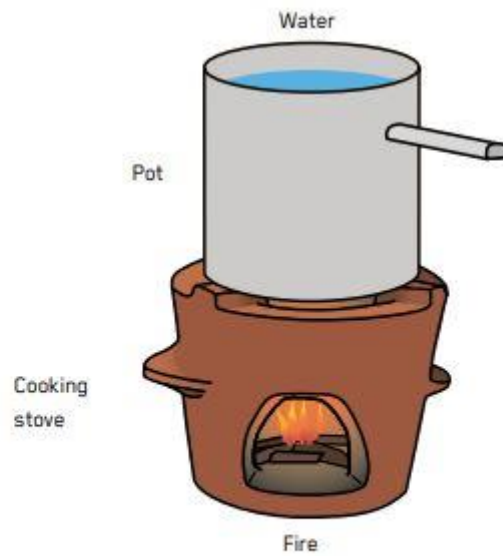
*Ilustración 34. Esquema de filtración usando un filtro de cerámica (German WASH Network, 2021, p. 152).*



*Ilustración 35. Esquema de una planta de osmosis inversa situada cerca de un río, tras la ruptura de una presa (Moreira, 2024, págs. 1-12).*

## Boiling

Response Phase	Application Level	Management Level	Objectives / Key Features
<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Acute Response</li> <li>★★ Stabilisation</li> <li>★★ Recovery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Household</li> <li>Neighbourhood</li> <li>City</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★ Household</li> <li>Shared</li> <li>Public</li> </ul>	Point-of-use treatment, water disinfection
Local Availability	Technical Complexity	Maturity Level	
<ul style="list-style-type: none"> <li>★★★ High</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★ Low</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★★★ High</li> </ul>	



*Ilustración 36. Esquema del hervido de agua para potabilizar (German WASH Network, 2021, p. 162).*



*Ilustración 37. Imagen de un tanque flexible (bladder, tanque cebolla) ([htt6](#)).*



*Ilustración 38. Grifo instalado en los campamentos de desplazados por el terremoto de Marruecos, en Amizmiz (france24, s.f.).*



*Ilustración 39. Imagen del sulfato de aluminio, floculante de uso común en el proceso de coagulación del agua (Aluminium Manufacturers)*



9. Anexo III: Comparación de los requerimientos sobre el abastecimiento de agua según Esfera y el manual de emergencias de UNHCR

Table Showing Some of the Water Supply Guidelines/Standards in Stable Situations – UNHCR vs. Sphere Project

S. N	Parameters	Description of Standard	UNHCR	Sphere Project
1.	Basic needs for health and well-being	Average quantity of water available per person/day	> 20 liters	> 15 litres
2.		Water containers per household (average of five members)	1x20 litres, 2x10 litres, 2x5 litres	Two 10-20 litres, and enough storage container at household
3.	Mitigate social burden; ensure equity, provide security of users; and avoid conflicts	Distance from farthest dwelling to water point	< 200 m	< 500 m
4.		Number of persons in each water point	80 to 100 per tap 200 to 300 per hand pump/well	250 per tap 500 per hand pump 400 per well
5.		Required water distribution hours in a day to supply 15 litres/person/day (calculated based on related data)	3.75 hours	9.3 hours
6.		Queuing time at a water source	Not specific, as it is impractical to monitor. Other standards indirectly control it.	< 15 minutes
7.	Prevention of health risk, reliable quality	Number of faecal coliform organisms at distribution point	0 per 100 ml treated water	0 per 100 ml treated water
8.		Free chlorine residual concentration in disinfected water	0.2 - 0.5 mg per litre	0.5 mg per litre

**Ilustración 40.** Tabla que muestra algunos parámetros relativos al agua de abastecimiento en un estadio de estabilidad tras la emergencia, según el manual esfera y según las guías de manuales de UNHCR. (UNHCR, 2005).



10. Anexo IV : Tabla con límites OMS de algunos parámetros medidos en el agua

Concepto medido	Unidad	Valor según la OMS
<b>Organolépticos</b>		
Color	Unidades de color	< 15 TCU (Total Color Units)
Olor	-	No detectable para agua potable
Sabor	-	No detectable para agua potable
Turbidez	NTU	< 5 NTU para agua tratada
<b>Bacteriológicos</b>		
E. coli	células/100 mL	No detectable en 100 mL
Enterococos	células/100 mL	No detectable en 100 mL
Clostridium perfringens	células/100 mL	No detectable en 100 mL
Total coliformes	células/100 mL	No detectable en 100 mL
<b>Químicos</b>		
Arsénico	µg/L	< 0.01 mg/L (10 µg/L)
Plomo	µg/L	< 0.01 mg/L (10 µg/L)
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/L	< 50 mg/L
Nitritos (NO <sub>2</sub> )	mg/L	< 0.1 mg/L
Fluoruros	mg/L	< 1.5 mg/L
Mercurio	µg/L	< 0.006 mg/L (6 µg/L)
Cloro residual libre	mg/L	0.2 - 2.0 mg/L
Cloro total	mg/L	0.2 - 5.0 mg/L
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	< 500 mg/L
pH	-	6.5 - 8.5
<b>Otros</b>		
Conductividad	µS/cm	No especificado
TDS (Sólidos disueltos totales)	mg/L	< 1000 mg/L
Sulfatos	mg/L	< 250 mg/L

**Tabla 5.** Se muestra una tabla, que es una adaptación centrada en algunos parámetros, y construida a partir de la extensa información que aparece en (WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, 2017) sobre parámetros mínimos para el agua. En concreto en los capítulos 3, 4 y 5, dedicados a contaminantes microbiológicos, químicos y radiactivos.



## 11. Anexo V: Ejemplos de hipotéticos análisis de agua en Aguas Claras

Para su realización se ha tenido en cuenta lo mencionado en:

- World Health Organization (WHO). (2011). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed.). WHO Press. pp. 185-517). A partir de:  
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>.

Parámetro	Unidad	Valor medido	Valor de referencia (OMS)
pH	-	6.5	6.5 - 8.5
Turbidez	NTU	12.0	< 5
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	300	60 - 200
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	60	< 50
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.5	< 0.1
Coliformes Totales	NMP/100mL	500	0
Coliformes Fecales	NMP/100mL	200	0
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	400	< 250
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	600	< 250
Hierro (Fe)	mg/L	2.0	< 0.3
Manganeso (Mn)	mg/L	0.3	< 0.1
Oxígeno Disuelto	mg/L	3.5	6 - 9

**Tabla 6.** Análisis previo del agua bruta del campamento de refugiados de Aguas Claras obtenida del acuífero.

Parámetro	Unidad	Valor medido	Valor de referencia (OMS)
pH	-	7.2	6.5 - 8.5
Turbidez	NTU	0.5	< 5
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	100	60 - 200
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	5	< 50
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.01	< 0.1
Coliformes totales	NMP/100mL	0	0
Coliformes fecales	NMP/100mL	0	0
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	20	< 250
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	30	< 250
Hierro (Fe)	mg/L	0.05	< 0.3
Manganeso (Mn)	mg/L	0.01	< 0.1



Parámetro	Unidad	Valor medido	Valor de referencia (OMS)
Oxígeno Disuelto	mg/L	7.5	6 - 9

**Tabla 7.** Análisis del agua tratada del acuífero, ya potable y lista para su posterior distribución, tras el proceso de ultrafiltración, ósmosis inversa y cloración.

Parámetro	Valor medido	Límite OMS
pH	7.1	6.5 - 8.5
Cloro residual	0.2 mg/L	≥ 0.2 mg/L
Dureza del agua (CaCO <sub>3</sub> )	80 mg/L	≤ 500 mg/L
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	35 mg/L	≤ 50 mg/L
Flúor (F <sup>-</sup> )	0.3 mg/L	≤ 1.5 mg/L
Plomo	5 µg/L	≤ 10 µg/L
Cadmio	1 µg/L	≤ 3 µg/L
Arsénico	3 µg/L	≤ 10 µg/L
Coliformes totales y E. coli	Presente en 100 ml	Ausente en 100 ml
Vibrio cholerae	Ausente en 100 ml	Ausente en 100 ml
Giardia y cryptosporidium	Posible presencia en 10 L	Ausente en 10 L
Legionella	Posible presencia en 1 L	Ausente
Rotavirus y norovirus	Posible presencia en 1 L	Ausente
Turbidez	2.0 UNT	< 1 UNT (idealmente < 0.3 UNT)
Sólidos suspendidos totales (SST)	50 mg/L	≤ 30 mg/L

**Tabla 8.** Tabla de parámetros para el agua bruta de la laguna (agua superficial).

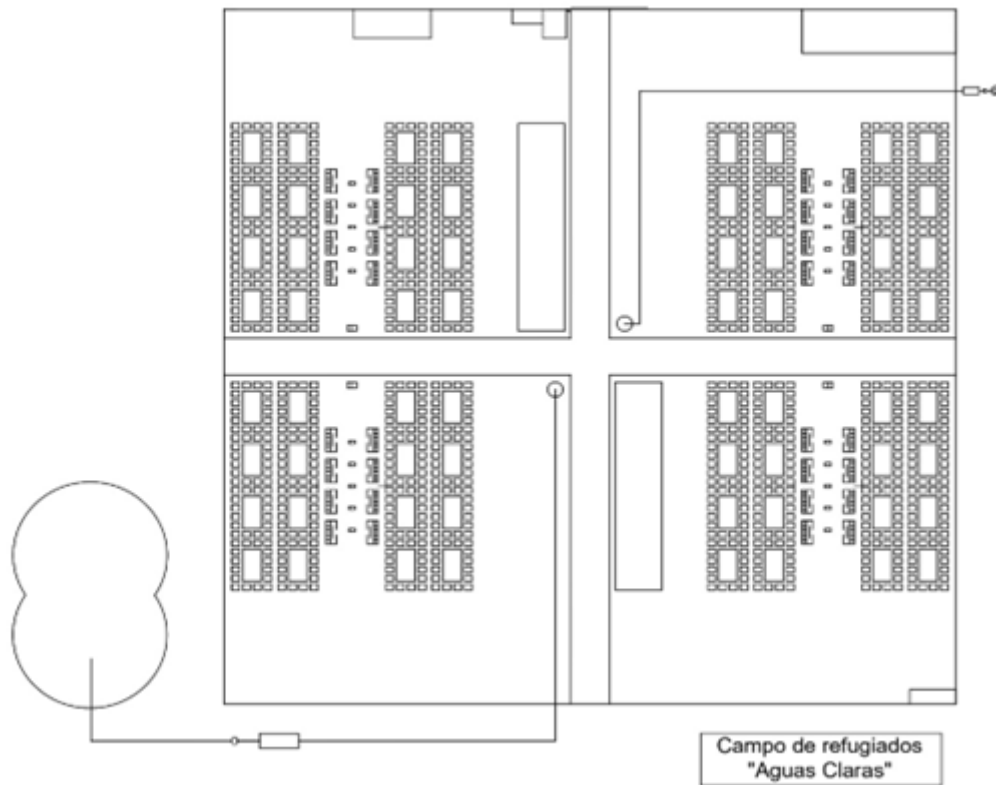
Parámetro	Resultado (Agua Tratada)	Límite OMS
pH	7.3	6.5 - 8.5
Cloro Residual	0.5 mg/L	≥ 0.2 mg/L
Dureza del Agua (CaCO <sub>3</sub> )	70 mg/L	≤ 500 mg/L
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	30 mg/L	≤ 50 mg/L



Parámetro	Resultado (Agua Tratada)	Límite OMS
Flúor (F <sup>-</sup> )	0.3 mg/L	≤ 1.5 mg/L
Plomo	1 µg/L	≤ 10 µg/L
Cadmio	0.2 µg/L	≤ 3 µg/L
Arsénico	1 µg/L	≤ 10 µg/L
Coliformes Totales y E. coli	Ausente en 100 ml	Ausente
Vibrio cholerae	Ausente en 100 ml	Ausente
Giardia y cryptosporidium	Ausente en 10 L	Ausente en 10 L
Legionella	Ausente en 1 L	Ausente
Rotavirus y norovirus	Ausente en 1 L	Ausente en 1 L
Turbidez	0.1 UNT	< 1 UNT (idealmente < 0.3 UNT)
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	2 mg/L	≤ 30 mg/L

**Tabla 9.** Tabla de parámetros para el agua tratada (potable y lista para su distribución) procedente de la laguna.

## 10. Anexo VI: Plano esquemático en dos dimensiones de Aguas Claras



**Ilustración 41.** En este mapa de dos dimensiones se pueden observar los refugios, comunidades, bloques y el asentamiento, que componen el campamento. Se pueden observar los 20 grifos comunitarios, letrinas, espacios comunes, depósitos de agua y estaciones potabilizadoras junto a cada fuente. Fuente: Elaboración propia.

## 11. Anexo VII: Esquema del abastecimiento de agua potable en los campos de refugiados de Tindouf (Argelia).

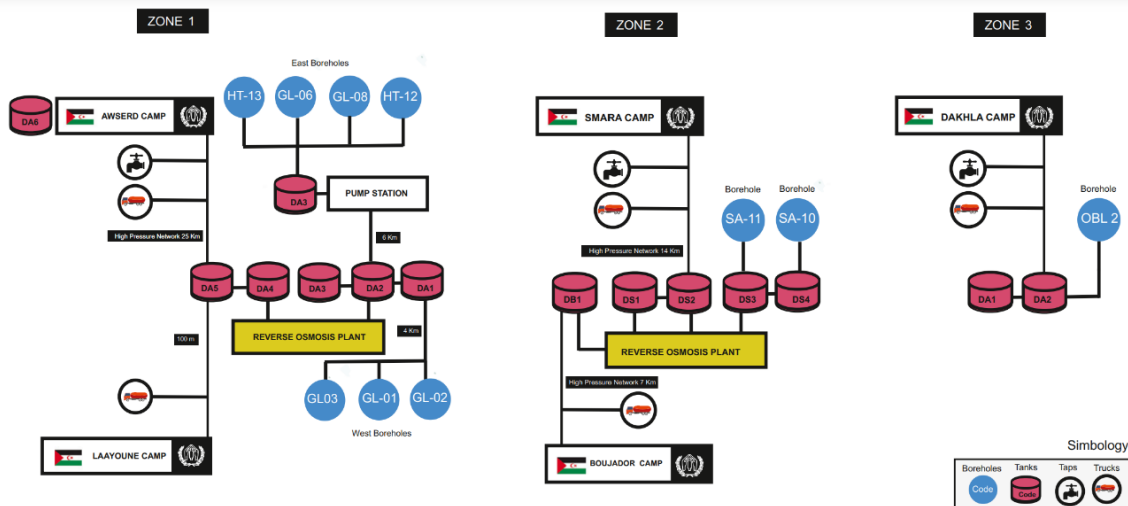
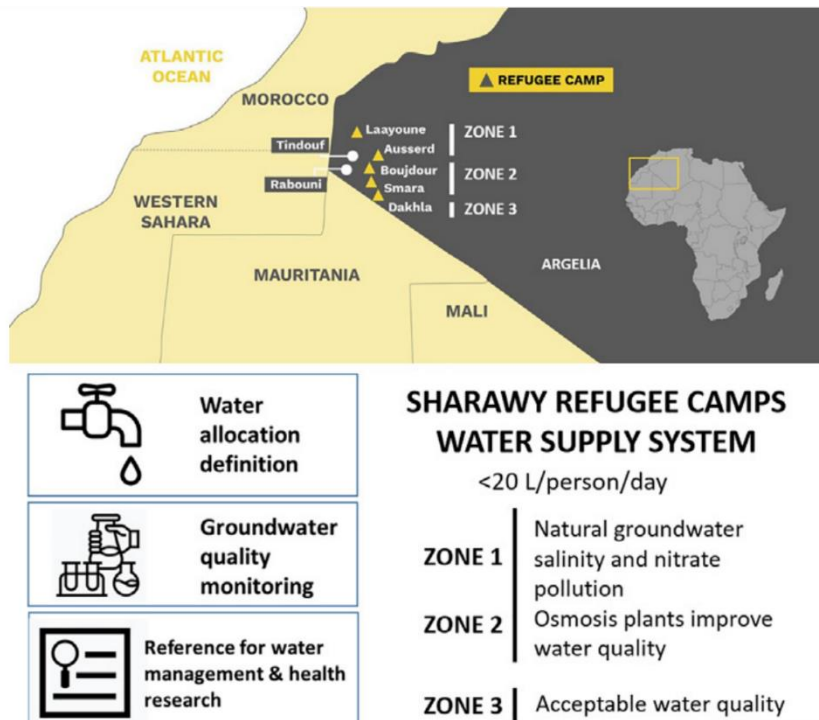


Fig. 2. Sahrawi refugee camps' drinking water supply systems in 2016 in Zone 1 (El Aiun and Awserd), Zone 2 (Smara, Rabouni and Boujadour) and Zone 3 (Dakhla) including boreholes (circles), reservoirs (cylinders), reverse osmosis plants and recharge points for tanker trucks.

**Ilustración 42.** Esquema del tratamiento de abastecimiento de agua en seis campos de refugiados situados Tindouf (Argelia). Cinco campos de refugiados usan plantas de ósmosis inversa (El Aiun y Awserd en la zona 1; Smara, Rabouini y Boujadour en la zona 2), tras la captación del agua en pozo profundo, mientras que otro no, Dakhla en la zona 3, ya que se considera que los niveles de salinidad del agua extraída del pozo son aptos para el consumo humano, y se clora, tras la extracción. Los tres campos usan para la posterior distribución del agua tratada camiones cisterna water trucking. (García, 2021, pág. 4).



*Ilustración 43. Datos de la extracción en las tres zonas de campos de refugiados anteriores (García, 2021, pág. 1)*