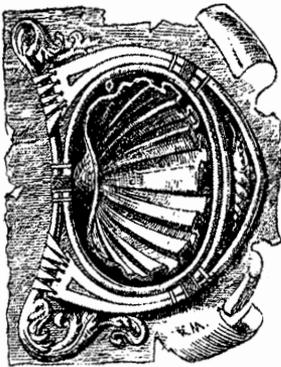


# VENTAJAS OPERATIVAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS CON EFICIENCIA ENERGÉTICA

Rafael José DE ESPONA  
Doctor en Derecho y correspondiente de la Real  
Academia de Jurisprudencia y Legislación

## Introducción



ESDE la promulgación del vigente Concepto Estratégico de la OTAN a finales del año 2010, la Seguridad Energética se cuenta entre los ámbitos específicos de interés de la Alianza Atlántica. La conceptualización de la Seguridad Energética en la doctrina de la OTAN se percibe con claridad en su terminología anglosajona —*Energy Security*, no *safety*— y supone un concepto de índole funcional, que integra diversos aspectos, incluyendo la dimensión geopolítica de la energía.

La incorporación de la Seguridad Energética a los cometidos de distintos departamentos OTAN supuso la reorganización o creación de parte de estos. Así, la ESCD (Emerging Security Challenges Division) asumió la dirección de este ámbito y, con la creación del Centro de Excelencia OTAN de Seguridad Energética en Lituania (2012) (1), se erigió un organismo de referencia especialmente dinámico y generador de redes de trabajo bajo el principio de cooperación público-privada, coordinando iniciativas en la materia procedentes de la industria, tecnólogos, operadores energéticos, centros de investigación y universidades. Este Centro de Excelencia ha sido asimismo el coordinador de otros órganos del ámbito energético, como el grupo de trabajo SENT (Smart Energy Team) y coadyuvante de programas tecnológicos como el SPS (Science for Peace and Security) en el marco de la Alianza Atlántica.

Consecuentemente con este enfoque estratégico y orgánico, el concepto *Operational Energy Security* se ha perfilado a partir de la moderna doctrina

---

(1) NATO Centre of Excellence for Energy Security, 2012, <https://enseccoe.org/en/about/6>.

*Energy Security* de la OTAN, la cual engloba la eficiencia energética (*Smart Energy*) para la optimización de los recursos militares (*Smart Defense*).

Teniendo en cuenta las modernas directrices de la OTAN sobre la energía, ha de tomarse en consideración el conjunto de la relación agua-energía en la logística militar y sus implicaciones colaterales, de manera particular en las plataformas militares navales.

Hay que tener presente que la eficiencia energética en los sistemas de tratamiento de aguas supone no solo un ahorro de recursos, sino ventajas logísticas, por ejemplo acortamiento de tiempos de funcionamiento, reducción de volumen de combustible, aumento de capacidades, escalabilidad por modularidad o convertibilidad de equipos para despliegue en tierra, flexibilidad y resiliencia ante contingencias negativas (continuidad de operación de la planta en caso de fallo en sistemas de propulsión del buque) y otras que inciden incluso en el propio diseño de la embarcación, sus prestaciones o huella medioambiental.

El propósito del presente estudio es señalar los aspectos clave que derivan de la aplicación del concepto *Operational Energy Security* a las plataformas navales militares en lo concerniente a las plantas de tratamiento de aguas embarcadas y el efecto de la innovación tecnológica en un caso concreto de referencia en España.

### ***Operational Energy Security* en el ámbito naval militar**

Respecto de la organización del sistema energético militar, la Seguridad Energética en las Fuerzas Armadas parte de unos principios organizativos propios: independencia, autarquía (de medios, recursos, logística, suministro, almacenamiento y reservas), resiliencia máxima para recomponer el suministro y especialidad operativa, así como disponibilidad de combustibles y tecnologías específicos y de superiores prestaciones. En cuanto a sus reglas funcionales, se resaltan la efectividad de las misiones para la consecución de los objetivos marcados; interoperabilidad, a nivel conjunto y combinado, en distintas plataformas y sistemas; escalabilidad, capaz y flexible de ajustarse a unidades, prolongación de misiones y despliegues, y operatividad y maniobrabilidad, sin entorpecer la funcionalidad del material y la movilidad.

La Seguridad Energética en el ámbito militar debe amoldarse ante todo a los condicionantes propios de la organización, equipamiento y misiones de la fuerza y su apoyo logístico, como pueden ser: la utilización práctica multidimensional de la energía (para instalaciones, plataformas y equipamiento individual en establecimientos, unidades y efectivos), la definición de requisitos especiales de producción y propulsión (superiores prestaciones en autonomía y potencia) y la disponibilidad de tecnologías especiales y de doble uso (combustibles polivalentes o sintéticos).

Bajo la perspectiva de la *Operational Energy Security*, las unidades militares han de contar con los equipos y procedimientos técnicos energéticos que maximicen sus capacidades operativas al tiempo que salvaguarden la protección, fiabilidad y resiliencia del flujo energético que requieran para la misión. La cuestión deviene más compleja cuando las tecnologías de otros equipamientos presentan interacciones logísticas, como ocurre en el procesamiento del agua para su potabilización.

Resulta evidente que los buques de guerra requieren ante todo una aplicación del concepto de Seguridad Energética Operativa orientada a la propulsión de la plataforma y al funcionamiento de los sistemas principales —de combate y de comunicaciones— para el cumplimiento de sus misiones. Ahora bien, en los aspectos relacionados con la habitabilidad y servicios a los tripulantes o unidades embarcadas, las necesidades de energía devienen vitales y condicionan aspectos a ser tenidos en cuenta en la fase de planeamiento de la misión (2).

En el caso concreto de las plantas de tratamiento de agua embarcadas, que llevan a cabo el proceso de potabilización mediante ósmosis, hay varios factores que influyen en su idoneidad para el uso militar. Sus requerimientos energéticos pueden condicionar parte de ellos, además del propio relativo a la logística de la energía.

### **Eficiencia energética en sistemas auxiliares de tratamiento de agua embarcados**

Las plantas de tratamiento de agua embarcadas han de configurarse teniendo en cuenta una serie de factores derivados de los requerimientos militares y el entorno de combate, citándose en particular:

- La capacidad de producción de agua ajustada a la necesidad operativa.
- El tamaño y peso minimizados para optimizar espacios en la plataforma.
- La electrónica de control de la planta, integrable en sistemas C4ISR.
- La firma acústica reducida para incremento de la furtividad de la plataforma.
- La robustez y resistencia de materiales a impactos.
- La viabilidad de procesamiento de agua contaminada en ámbito NBQ.
- La seguridad de materiales (veto a los peligrosos, como el PVC).
- La fiabilidad, facilidad de mantenimiento y sostenibilidad del ciclo de vida.

---

(2) THAITE, Alexandre; NEBOIS, Pascal; LASSALLE, Bruno: *Optimisation des ressources énergétiques des forces en opération (OREFOPS)*, Fondation por la Recherche Stratégique, Rapport n.º 174 / FRS / OREFOPS, April 9, 2014, pp. 18-20, <http://www.defense.gouv.fr/content/download/281556/3605115/file/EPS2012-OREFOPS.pdf>.

Todos estos factores han de ser tenidos en cuenta para integrar el elemento energético, de modo que el propio consumo de la planta de tratamiento de agua no grave la logística de la plataforma. Asimismo, ha de considerarse que se tiende a homogeneizar tecnologías para interoperabilidad de componentes entre distintos buques. Todos los buques llevan plantas y sistemas redundantes (duplicados al menos). El consumo de agua potable es muy alto, las plantas funcionan 24 horas durante las operaciones.

Aunque, en principio, el consumo energético de las plantas de tratamiento de agua embarcadas no es factor determinante para las misiones asignadas a las plataformas, la eficiencia energética del proceso de tratamiento en los equipos potabilizadores embarcados tiene relevantes implicaciones con repercusión en las prestaciones operativas de la plataforma y su incidencia en el planeamiento de misión —además del ahorro de energía y la optimización de recursos—; aunque el consumo energético de la planta no es inicialmente un factor determinante sobre la misión, cabe tener en cuenta el supuesto de disfunción de los sistemas de propulsión y déficit de generación energética.

En cuanto al consumo energético de las plantas de tratamiento de potabilización, se considera en particular una innovación científica aplicada al ciclo del agua y la energía en las plantas que procesan agua salina por ósmosis inversa mediante la tecnología de patente española FLUIDRA/ECOSYSTEMS (3). Con este sistema, la optimización energética es alcanzada mediante la recuperación de la energía contenida en el rechazo de agua durante el proceso de ósmosis, con lo que se genera gran parte de la que se necesita para el propio proceso de desalación. De esta manera, se alcanzan rendimientos con hasta un 80 por 100 de ahorro energético respecto de las plantas con tecnología convencional (4).

Con la tecnología utilizada, se minimiza uno de los grandes inconvenientes del proceso de la ósmosis inversa, que es el gran consumo energético. Con un diseño ajustable, el equipo puede adaptarse priorizando distintos requisitos (ligereza, caudal, calidad, robustez, reducción de firma acústica). También se consigue implementar la recuperación de energía en pequeñas plantas compactas que no necesitan ni grandes inversiones, ni obra civil asociada, ni montajes en el destino. Por lo tanto, se puede emplear en plantas embarcadas, transportables, convertibles o fijas. Los equipos pueden ser fabricados con diversos materiales, desde plásticos técnicos como el PEEK, cerámicas hiperduras o aceros inoxidables súper duplex.

---

(3) CASAS. Ignasi: *Tecnología para la eficiencia energética en plantas de tratamiento de aguas*, Comunicación al Congreso de I + D en Defensa y Seguridad, DGAM (Ministerio de Defensa), Toledo, 2017.

(4) Existen diversas variantes: con bombas de un solo pistón, con capacidades de 25, 30, 60 y 90 litros/hora, y bombas multipistón, con capacidades de 200, 300 y 2.000 litros/hora. Las de un solo pistón pueden funcionar con 12 VDC, 24 VDC, 220 VAC, mientras que las multipistón funcionan con 220 VAC o 380 VAC.

Esto es factible mediante un amplio abanico de posibilidades de alimentación eléctrica y admite diversas fuentes de energía (eólica, solar, baterías de litio). Además de su bajo consumo energético, permite ahorrar peso y volumen en el equipo por el tipo de componentes requeridos.

El principio de recuperación de energía se basa en este caso en la restitución de la contenida en el rechazo del proceso de la ósmosis inversa, y así presurizar, de forma directa, el agua de mar que entra en las membranas.

### **Implicaciones logísticas para la fuerza de desembarco**

Considerando que en el ámbito de las marinas de Guerra —y de nuestra Armada en particular— las fuerzas de Infantería de Marina han de disponer de una base semipermanente para ser desplegable en diversos teatros de operaciones, se plantean dos cuestiones *a priori*:

- El tipo de equipos para tratamiento de aguas con que deben contar, considerados conjuntamente con los medios empleados para logística, generación y distribución energética, gestión de residuos y otros servicios de habitabilidad.
- La convertibilidad de plantas de tratamiento de aguas que se encuentren embarcadas o desplegadas en tierra, para ser empleadas en ambos entornos (si se establece un hospital de campaña en una embarcación, con contenedores adicionales para reforzar las capacidades de tratamiento de aguas o destinar una planta específica para procesar agua en entorno NBQ).

Considerando que este establecimiento se ubicaría en territorios próximos a la costa y, por lo tanto, sería factible aprovisionarse directamente de agua de mar para someterla al proceso de ósmosis para su potabilización, la tecnología mencionada en el epígrafe anterior sería perfectamente empleable.

A diferencia de las plantas embarcadas, factores como el volumen y el consumo energético son mucho más relevantes en este caso. Considerando un modelo-tipo de planta como referencia para una base semipermanente desplegable junto al mar, cabría partir de prestaciones para una pequeña unidad tipo compañía, con 100 efectivos, ampliable escalonadamente hasta una brigada (2.500 efectivos) e, incluso —en caso de apoyo a misiones de gestión de crisis en catástrofes humanitarias—, ampliar capacidades para apoyar un campamento de refugiados contiguo hasta varios miles más. Por esta razón, la modularidad de estas plantas es un requisito necesario.

Para la configuración técnica de los servicios de base en este establecimiento semipermanente desplegable para fuerzas de Infantería de Marina, serán de utilidad como referencia los prototipos que deriven de los programas

denominados *Sustainable Camp* (de la OTAN) (5) y *Smart Camp* (de la EDA) (6), en los cuales se está aplicando la innovación en eficiencia energética, protección medioambiental y *smart defense*, bajo el componente doctrinal de Seguridad Energética perfilado desde los órganos especializados de la Alianza Atlántica.

## Conclusiones

Los sistemas de tratamiento de aguas empleados por las marinas militares pueden contribuir a la seguridad energética en operaciones, logrando la optimización energética y la mayor autonomía de funcionamiento de equipos instalados en la plataforma, junto con la capacidad de despliegue de medios logísticos y de proyección de fuerza en tierra, aptos para asentar establecimientos militares permanentes o semipermanentes autosostenibles para las fuerzas de Infantería de Marina.

Aunque la cuestión del consumo energético pareciera un aspecto secundario en las plantas de tratamiento de agua embarcadas (habida cuenta las capacidades de generación energética para propulsión disponibles en la plataforma), ciertamente, en el ámbito de la logística militar, la potabilización de agua de mar con recuperación de energía —además de optimizar recursos— permite incrementar las capacidades de la fuerza en diversos escenarios.

El apoyo industrial a la Armada en el ámbito de plantas de tratamiento de aguas y tecnologías de mejora de la eficiencia energética ha de incluir otros factores, tales como la fiabilidad, la robustez y la furtividad (minimizando el ruido/vibración para reducir la firma acústica), entre otros, que a su vez se interrelacionan con el concepto *Operational Energy Security* habida cuenta la transversalidad de la energía.

Considerando la próxima generación de fragatas españolas del programa *F-110*, las potenciales innovaciones derivadas del concepto de Seguridad Energética Operativa y las nuevas prestaciones que conlleve, cabe tener presente que la eficiencia energética supone, además de un ahorro, otras ventajas. Entre ellas, la flexibilidad para el incremento de capacidades de los equipos auxiliares en la plataforma, lo cual se aprecia en concreto en las plantas de tratamiento de agua mediante ósmosis configuradas con tecnología de recuperación de energía.

---

(5) <https://enseccoe.org/en/newsroom/nato-and-partners-discuss-sustainable-military-compounds-in-an-operational-environment/95> (1-3-2018).

(6) <https://www.eda.europa.eu/info-hub/press-centre/latest-news/2016/06/09/smart-blue-water-camps-project-launched> (1-3-2018).

## BIBLIOGRAFÍA

- CASAS, Ignasi: *Tecnología para la eficiencia energética en plantas de tratamiento de aguas*, Comunicación al Congreso de I + D en Defensa y Seguridad, DGAM (Ministerio de Defensa), Toledo, 2017.
- ESPOÑA, Rafael José de: «El nuevo Centro de Excelencia de Seguridad Energética de la OTAN y la dimensión marítimo-costera de la seguridad energética», *REVISTA GENERAL DE MARINA*, vol. 265 (octubre, 2013), pp. 423-433.
- *El moderno concepto integrado de Seguridad Energética*, IEEE, Documento de Opinión 32/2013 (2 de abril de 2013).
- *La seguridad energética en la OTAN*. IEEE, Documento de Opinión 13/2010, octubre 2010.
- HUSSEY, Karen; PITTOCK, Jamie (2012): *The Energy-Water Nexus: Managing the Links between Energy and Water for a Sustainable Future*. *Ecology and Society* 17(1): 31. (2012). <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04641-170131>
- MOORE, James S.: *The U.S. Military's reliance on bottled water during military operations*, National Defense University. Joint Forces Staff College, Joint Advanced Warfighting School, 2011. <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a545433.pdf>
- PELTZ, Eric; HALLIDAY, John M.; ROBBINS, Marc L.; Girardini, Kenneth J.: *Sustainment of Army Forces in Operation Iraqi Freedom. Battlefield Logistics and Effects on Operation*, RAND Corporation, Santa Mónica, 2005. [https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monographs/2006/RAND\\_MG344.pdf](https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monographs/2006/RAND_MG344.pdf).
- THAITE, Alexandre; NEBOIS, Pascal; LASSALLE, Bruno: *Optimisation des ressources énergétiques des forces en opération (OREFOPS)*, Fondation por la Recherche Stratégique, Rapport n.º 174 / FRS / OREFOPS, April 9, 2014, pp. 18-20. <http://www.defense.gouv.fr/content/-download/281556/3605115/file/EPS2012-OREFOPS.pdf>.
- US Army, *Potable water consumption planning factors by environmental region and command level*, Force Development Directorate, US Army Combined Arms Support Command, Fort Lee (Virginia), 2008. [http://www.quartermaster.army.mil/pwd/publications/water/Water\\_Planning\\_Guide\\_rev\\_103008\\_dtd\\_Nov\\_08\\_\(5-09\).pdf](http://www.quartermaster.army.mil/pwd/publications/water/Water_Planning_Guide_rev_103008_dtd_Nov_08_(5-09).pdf).
- US Marine Corps, *Petroleum and Water Logistic Operations*, 2016. <http://www.marines.mil/Portals/59/Publications/MCRP%203-40B.5.pdf?ver=2017-03-28-141021-523>.
- VICIANA FORTE, Claudia: *Estudio de los Sistemas de Recuperación de Energía en Plantas Desaladoras por Ósmosis Inversa*, Universidad de Sevilla, Sevilla, 2015, pp. 98-102.
- VV. AA.: *Soluciones tecnológicas a problemas logísticos en operaciones*, Documento de Trabajo IEEE 05/2016, Ministerio de Defensa, pp. 63-65. [http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs\\_trabajo/2016/DIEET05-2016\\_SolucionesTecnologicas\\_PoblemasLogisticosOperaciones.pdf](http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_trabajo/2016/DIEET05-2016_SolucionesTecnologicas_PoblemasLogisticosOperaciones.pdf).