EL CAMBIO CLIMÁTICO
Y SU IMPACTO EN EL TRANSPORTE MARITIMO INTERNACIONAL

Ing. ALEXANDER ESLAVA SARMIENTO
Consultor Portuario – Especialista en Logística Internacional
laeslavas@unal.edu.co

"Tenemos un sólo planeta.
No hay Plan B porque no hay planeta B"

Ban Ki-moon

Secretario General de las Naciones Unidas,
XXI Cumbre de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático,
7 de diciembre de 2015.

Introducción

Cambios fundamentales han llegado muy pronto al Ártico al inicio del siglo XXI. La capa de hielo marino del Océano Ártico está experimentando una profunda transformación en extensión, grosor y condición, ya que es aproximadamente el 40% más pequeña de lo que era en 1979, la tasa de calentamiento del casquete polar ártico aumenta a razón de 0,2°C/década, y la extensión anual del hielo marino ha disminuido a una tasa de 3,8%/década, mientras que el hielo perenne (que representa el componente grueso) está disminuyendo a una tasa mucho mayor de 11,5%/década. De igual forma, la cubierta de nieve de la primavera también ha estado disminuyendo a un ritmo del 2,12% /década desde 1967, y la capa de hielo de Groenlandia ha estado perdiendo masa a razón de 0,09 mm /año (Comiso, Josefino C. and Dorothy K. Hall., 2014).

Lo anterior, indica que el cambio climático está integrando el círculo polar Ártico cada vez más con la economía mundial a través de la fusión del hielo marino y la desaparición del *permagel* (hielo permanente), ya que permitirá la extracción y comercialización de los vastos recursos minerales y energéticos, que no incluyen sólo petróleo y gas natural, sino también un conjunto de minerales duros como cobre, níquel, paladio, zinc, cobalto, tungsteno, diamantes, uranio y muchos más, generando otra fuente de aumento de tráfico marítimo internacional. Esta nueva y creciente actividad económica del Ártico, cada vez más integrada con la economía global, se puede anticipar los riesgos ambientales a los que el ecosistema se expone -emisiones de gases de efecto invernadero, vertimiento de hidrocarburos, interrupción de la vida marina, ruido antropogénico, etc.-

Si la tendencia actual del cambio climático prevalece -la capa de hielo de la Antártida Occidental también se estima que ya superó el umbral de colapso- la desaparición del hielo marino Ártico será antes de 2040, y permitirá el desarrollo de rutas marítimas entre Asia y Europa a través del Ártico, reduciendo las distancias de viaje hasta en 9.600 kilómetros, acortando el tiempo de tránsito en un estimado del 30%. El hecho de que las rutas trans-árticas son mucho más cortas que a través del Canal de Suez o del Canal de Panamá entre el norte de Europa y el norte de Asia, vislumbra un ambiente prometedor a la industria naviera (Lasserre, F., 2014). Esto crearía la mayor reestructuración de las rutas comerciales marítimas a nivel global desde la apertura de la ruta del Canal de Panamá en 1914.

EL TRANSPORTE MARÍTIMO INTERNACIONAL Y SU IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE

La función principal de un buque es la de transportar con seguridad su carga y la tripulación, para tal, la estructura principal de un buque es el casco, que proporciona una plataforma de transporte y protección contra el medio ambiente, pero, el transporte marítimo internacional impacta de manera muy significativa el medio ambiente, y contribuye a la adición de contaminantes antropogénicos a los océanos del mundo a través de las siguientes fuentes:

a. Descarga de agua de sentina

La parte interior más baja del casco de un buque donde los líquidos drenan desde los espacios interiores y cubiertas superiores se conoce como la sentina. Las principales fuentes de líquidos que drenan en la sentina

provienen de: sala principal de máquinas, sala de máquinas auxiliar, callejón del eje, aire acondicionado, equipos de refrigeración, sistema de dirección y bombas. Los líquidos recogidos se llaman agua de sentina, y es una mezcla de varias sustancias, a menudo se compone de hidrocarburos, grasa, fluidos hidráulicos, aditivos oleosos, limpiadores solventes, desengrasantes, detergentes y diversos metales. Se estima que el volumen total de producción de agua de sentina de un buque tanque (OilTanker) es de 19.200 toneladas por año. En la actualidad (Fredrik J. Lindgren, et al., 2016) se vierte al mar 36.000 toneladas métricas (TM, en adelante) de agua de sentina anualmente, de 1 millón TM en el período de 1970–2000. De igual manera, los rodamientos del eje de la hélice del buque pueden contribuir a los vertidos de petróleo, ya que pueden perder entre dos y seis litros de aceite al día.

b. Descarga de agua de lastre

Para asegurar la flotabilidad del buque, estabilidad y maniobrabilidad, los buques en alta mar necesitan agua de lastre. El aumento cantidades de bienes transportados en el mar durante el último siglo han resultado en grandes volúmenes de agua de lastre que se transfieren entre las zonas costeras y los puertos del mundo. En la actividad de absorción y descarga del agua de lastre, organismos marinos también se transfieren a los tanques de agua lastre y a los puertos del mundo. El tanque de lastre constituye un «hogar lejos del hogar» (Takahashi et al., 2008) para la biota marina. La frecuencia del tráfico marítimo mundial y la rapidez del transporte han mejorado la tasa de supervivencia de los organismos en los tanques de lastre debido a la reducción en el tiempo de tránsito, los organismos pasan menos tiempo en la oscuridad y en condiciones de poco oxígeno. Sobre la base de una estimación de que el comercio marítimo mundial 2013 ascendió a 9,35 mil millones de TM de carga, las descargas de agua de lastre a nivel global en 2013 se estiman en alrededor de 3,1 billones de TM (Matej David & Stephan Gollasch, 2015).

El transporte marítimo internacional es considerado el principal vector en la transferencia de organismos entre diferentes ecosistemas en todo el mundo, y es el vector más grande a nivel global en la introducción de especies invasoras en diferentes áreas marinas. Se estima que 10.000 especies (plántulas, animales, microorganismos, bacterias) son transferidas por los buques mercantes cada día. Cuando las especies son introducidas a nuevas áreas y son tolerantes con las nuevas condiciones físicas, pueden afectar los ecosistemas existentes –bio-invasiones inducidas, contaminación biológica y pérdida de la biodiversidad-, ejemplo de ello se tiene: fitoplancton asiático, *Odontella biddulphia,* en el Mar del Norte; cangrejo chino mitra, *Eriocheir sinensis*, ahora se le encuentra en el Mar del Norte (puede viajar largas distancias en tierra, arruinando la pesca local, socavando sedimentos y transportando parásitos y enfermedades.); medusa peine, *Mnemiopsis leidyi*, especie nativa de la costa este de los Estados Unidos y del Mar Caribe, se introdujo en la década de 1980 al Mar Negro y el Costa oeste sueca; mejillón cebra del área Ponto-Caspio, invadió los grandes Lagos en EE.UU (tapona tuberías de drenaje); el gobio redondo, *Neogobius melanostomus*, nativo de Eurasia central (Mar Caspio) ahora se le encuentra en Europa y América del Norte; el cangrejo araña, *majid Hyas araneus*, nativo del Atlántico Norte, ahora se halla en aguas de la Península Antártica.

La introducción de especies acuáticas invasoras es una de las cuatro mayores amenazas para la biodiversidad de los océanos del mundo, ya que son virtualmente irreversibles, y sus impactos aumentan en gravedad con el tiempo. El tránsito de buques mercantes por el Canal de Suez provocó la introducción directa de más de 250 especies invasoras en aguas de Europa. En 1991, miles de personas en el Perú murieron debido a un brote de cólera causado por Vibrio cólera, transportado en el agua de lastre tomada al sur Asia oriental. Esta epidemia se extendió rápidamente por toda América Latina llegando a EE.UU., en julio de 1992. La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) determinó que el brote se originó a partir de agua de lastre de un buque cuya última escala fue en un puerto Suramericano.

c. Descarga de aguas residuales

El agua, en un buque, de inodoros, lavaplatos, duchas, lavadoras, baños, lavabos, y otras fuentes, se conocen como aguas residuales, y pueden contener: metales pesados, residuos de productos farmacéuticos, patógenos (bacterias, virus y huevos de parásitos intestinales), materia orgánica, nutrientes, bacterias, sólidos en suspensión, detergentes, aceite, grasa y partículas de alimentos, también puede contener microplásticos (Wright, S. L., Thompson, R. C. & Galloway, T. S., 2013) que se originan del uso de ciertos tipos de cosméticos, por ejemplo, exfoliantes faciales y limpiadores exfoliantes de manos, o de lavado textiles de poliéster o acrílico. La cantidad de aguas residuales producidas en un buque está relacionado con el número de personas a bordo y con los parámetros técnicos del sistema de aguas residuales. La tasa de generación de aguas residuales se estima en aproximadamente 70 litros por persona por día para un sistema de descarga convencional y 25 litros por persona por día con un sistema de vacío instalado a bordo de un buque mercante, muy bajo en comparación a los 300 litros por persona por día en un crucero.

La descarga de nutrientes y materia orgánica conduce a eutrofización marina y puede aumentar el riesgo de floraciones de algas (y de cianobacterias que pueden producir toxinas); la descomposición de la materia orgánica puede provocar hipoxia o anoxia (ausencia de oxígeno disuelto) en el fondo del mar debido al agotamiento de oxígeno, creando «zonas muertas» en el océano. Bajo condiciones anóxicas (Fredrik J. Lindgren, et al., 2016), otros tipos de bacterias comienzan a usar sulfato como fuente de energía en lugar de oxígeno al descomponer la materia orgánica disponible. Este proceso representa una amenaza para la vida marina, lo que resulta en la disminución de su biodiversidad.

d. Vertido de basuras

Los desechos sólidos se transfieren al medio marino desde diversas fuentes. Cuando los desechos sólidos ingresan al medio marino, se convierte en desechos marinos. En algunos casos, también se usa el término «flotantes». Estos términos describen el mismo fenómeno y sus características adversas. Basura marina es definida (Andrés Hugo Arias & Jorge Eduardo Marcovecchio, 2018) como «cualquier material sólido persistente, fabricado, procesado y desechado, eliminado o abandonado deliberadamente en el medio marino y costero». El plástico es el más frecuente de los desechos marinos flotantes a escala global, no es biodegradable y se tiene la particularidad de fragmentarse en pedazos más pequeños o microplásticos. Las principales fuentes marinas de desechos marinos son los buques mercantes, cruceros, buques pesqueros, flotas militares, buques de investigación, embarcaciones de recreo, plataformas de exploración de petróleo y gas natural mar adentro e instalaciones de piscicultura. La basura marina (Laist, D.W., 1997; Gregory, Murray R., 2009) afecta a un mínimo de 267 especies en todo el mundo en todo el mundo. Específicamente, al 86% de todas las especies de tortugas marinas, al 44% de todas las especies de aves marinas y el 43% de todas las especies de mamíferos marinos han experimentado los efectos de la basura marina. La biodiversidad en un ecosistema marino se puede reducir debido a que la basura flotante de plástico puede actuar como plataforma de transporte para la introducción de especies invasoras que pueden superar a las especie nativas.

e. Bio-incrustaciones

Bio-incrustación en los buques se define como “la acumulación indeseable de microorganismos, algas y animales en los cascos de los buques inmersos en agua de mar”. Cuando un buque se bota al mar, los procesos de incrustación comienzan inmediatamente, y procede de una eco-sucesión lógica de diferentes tipos de organismos que se unen en diferentes fases. Los primeros organismos que se unen al casco del buque son los

colonizadores primarios, las biomolécuas (lo hacen en minutos), seguido de bacterias (lo hacen en horas formando una bio-película microbiana), larvas (lo hacen en días), y finalmente animales macroscópicos (lo hacen en semanas). La colonización de superficies es una característica universal y fundamental de la biota en ambientes marinos. Los organismos incrustantes son un problema para la industria naviera porque provocan un aumento de la fricción en los cascos de los buques, lo que aumenta de peso, reduce la velocidad y disminuye de la maniobrabilidad del buque, efectos que deben ser compensado por un mayor consumo de combustible.

Se ha estimado que el consumo de combustible de un buque en tránsito aumenta 6% cuando a la misma velocidad se mantiene por cada 100 µm de aumento de la bio-película, lo anterior, debido a la rugosidad del casco por la bio-película incrustante (Pei-Yuan Qian et al., 2007). Adicionalmente la bio-película aumenta la corrosión de los cascos de los buques y permite la introducción de nuevas especies en áreas donde no están presentes de forma natural, ya que los organismos pueden viajar unidos al casco del buque, y al limpiar el casco, en el puerto, o cuando se produce el desprendimiento de la bio-película incrustante, los organismos entran en un nuevo hábitat -la destrucción de hábitats y la introducción de especies invasoras son dos de las cuatro mayores amenazas que propician los buques mercantes al medio ambiente-

El Tributilestaño (TBT) es una sustancia con excelentes propiedades anti-incrustantes, y se ha comercializado como un biocida anti-incrustante incorporándolo a la pintura de los cascos de los buques, siendo estable pero con lixiviación lenta -en consecuencia, genera impacto ambiental al ecosistema marino-, permitiendo la disminución de la rugosidad del casco, lo que resulta en ahorro de combustible, reducción de la contaminación atmosférica y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La tasa de lixiviación de tóxicos (Diego Meseguer, YebraSørenKiil and Kim Dam-Johansen, 2004) es aproximadamente constante durante la vida útil de la pintura anti-incrustante (TBT). Debido a los múltiples efectos negativos -se acumula en células e inhibe la transferencia de energía en procesos respiratorios y fotosintéticos, genera crecimiento defectuoso y altera el sistema inmunológico en mamíferos marinos-, la International Maritime Organization (IMO) decidió en octubre de 2001 imponer una prohibición mundial del uso de este producto en lo cascos de los buques.

f. Ruido antropogénico

El ruido antropogénico es un problema que se origina tanto en los buques como en infraestructura que los soporta. Numerosos animales marinos dependen del sonido para navegar, aparearse, buscar comida y comunicarse. Los organismos marinos se ven afectados cuando el ruido de diversas actividades del transporte marítimo internacional se transfiere al mar: pérdida de audición permanente o temporal, el enmascaramiento de una señal deseada y cambios de comportamiento en respuesta a un sonido, mayor nivel de estrés en peces, desplazamiento de hábitats en ballenas gris, ballenas jorobadas, belugas, pérdida de rumbo en manatíes. El enmascaramiento ocurre cuando los sonidos invasores cubren una señal deseada, dificultando la detección, lo que puede obstaculizar la comunicación, las llamadas de apareamiento y la búsqueda de presas (Helene Marsh & Amanda J. Hodgson, 2007). El efecto final es cambios de comportamiento en respuesta a un sonido, que puede incluir el abandono de una actividad importante en respuesta a un sonido, por ejemplo, la alimentación, la lactancia o el uso de un área.

En el transporte marítimo internacional los buques mercantes más grandes generan mayores fuentes acústicas, su principal fuente de ruido es la hélice, especialmente a través del fenómeno de cavitación, cuando la hélice gira, diferentes partes de las cuchillas están sujetas a varias presiones que generan cavidades (burbujas no esféricas) en la superficie de la cuchilla. Cuando la cuchilla se mueve la las cavidades colapsan rápidamente, generando ondas de choque, que a su vez producen un silbido en el rango de frecuencia de 10 Hz a 10 kHz, y que puede dañar la hélice, a frecuencias más bajas -10-30 Hz- se experimentan vibraciones del casco a bordo

del buque. Este sonido emitido aumenta con el envejecimiento de la hélice debido al desgaste adicional o a la fijación de bio-incrustaciones marinas. Otros sonidos emitidos por los buques incluyen el rugido de los motores, el movimiento de los cojinetes y las vibraciones de la parte exterior del casco. Lamentablemente, ninguna ley internacional, en la actualidad, regula el ruido antropogénico subacuático generado por el transporte marítimo internacional.

g. Contaminación atmosférica y emisiones de GEI

Todas las actividades del buque son responsables de emisiones contaminantes al medio ambiente, y en particular, el movimiento del buque en actividades portuarias o navales durante su permanencia en puertos (energía para iluminación, calefacción, etc.), carga y descarga de mercancías. Las emisiones de gases de combustión interna del motor de los buques mercantes contribuyen significativamente a la contaminación atmosférica y al cambio climático (Eyring, V. et al., 2010; Ng, A. K. Y., & Song, S., 2010). Los principales compuestos que emite un buque mercante incluyen dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) –gases de efecto invernadero (GEI), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC), dióxido de azufre (SO_2) y material particulado (MP). Las emisiones de hidrofluorocarburos (HC) son consecuencia de la mala combustión del combustible. Las liberaciones de refrigerante y gas de aire acondicionado representan la mayoría de las emisiones de (HFC) e hidrofluorocarburos (HCFC) afectando la capa de ozono.

El transporte marítimo de mercancías es el quinto mayor contribuyente en la contaminación del aire y las emisiones de carbono; la tasa de crecimiento del comercio internacional hace que el problema sea aún más apremiante. En cuanto al inventario global de CO_2, el transporte marítimo sobrepasa los 1.000 millones de TM -dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), y si fuera un país, sería el sexto mayor productor de emisiones al aire (Buhaug et al., 2009; Harrould-Kolieb and Savitz, 2010). El tercer estudio a escala global (IMO, 2015) indica que el transporte marítimo internacional representa aproximadamente 2,2% de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) y estima que anualmente produce 18,6 millones de TM de óxidos de azufre SO_x (como SO_2) y óxidos de nitrógeno NO_x (como NO_2), equivalente al 15% de emisiones de SO_x y NO_x a nivel global de origen antropogénico. Los combustibles para el transporte marítimo modernos tienen mucho más contenido de azufre que los combustibles para el transporte por carretera. Para 2050, indica el estudio, las emisiones de CO_2 aumentarán significativamente, entre un 50% y un 250%, dependiendo de crecimiento económico y del desarrollo energético futuro. Adicionalmente, los buques eyectan al medio ambiente material particulado (MP) y compuestos orgánicos volátiles (COV) que tiene un potencial de calentamiento y efecto refrigerante. Cuando un buque naufraga contamina los océanos del mundo con el sistema de refrigeración, calefacción y lubricante del buque -buques antiguos, aún en servicio emplean HCFC (R-22), mientras que buques nuevos usan HFC (R134a / R404a; de igual forma se contamina el mar con HCFC cuando un contenedor refrigerado que cae por la borda del buque al mar.

En los últimos años se ha centrado la atención en la disminución de la velocidad de los buques mercantes en tránsito a nivel global, esto, con el fin de reducir el consumo de combustible, y de hecho, ha habido una descenso significativo en las emisiones de CO_2, pero, existe el riesgo (Hulda Winnes, Linda Styhre, & Erik Fridell, 2015) de que las emisiones de los buques aumenten a medida que aumenten los fletes en tiempos de prosperidad.

h. Vertido de mercancías

La industria petrolera bombea grandes cantidades de petróleo crudo a la superficie de la tierra y lo transporta a varios lugares alrededor del mundo cada año, el modo principal empleado para su transporte es el marítimo.

Accidentes, encallamientos, descargas operacionales y naufragios son todas fuentes de vertidos de petróleo en los océanos durante su transporte internacional. Petróleo, hidrocarburos, productos químicos, carbón, minerales finos, cereales y fertilizantes son vertidos a gran escala en los océanos del mundo (Tabla No. 1).

Nombre del buque	Año	Locación	Mercancía	Causa	Toneladas vertidas (TM)
Atlantic Empress	1979	Tobago, Mar Caribe	Petróleo	Colisión con buque	287.000
ABT Summer	1991	A 1.300 km de la costa de Angola	Petróleo	Explosión	260.000
Castillo de Bellverwas	1983	Bahía Saldanha, Sur África, Océano Atlántico	Petróleo	Incendio	252.000
Amoco Cadiz	1978	Brittany, Francia, Océano Atlántico	Petróleo	Encallamiento	234.000
New Mykonos	2016	Faux Cap, sur de Madagascar, Océano Índico	Carbón	Encallamiento	160.000
Haven	1991	Génova, Italia. Mar Mediterráneo	Petróleo	Fuego/Explosión	144.000
Odyssey	1988	A 1.300 km de Nueva Escocia, Canadá	Petróleo	Explosión	132.000
Torrey Canyon	1967	Islas Scilly, Reino Unido, Océano Atlántico	Petróleo	Encallamiento	119.000
Sea Star	1992	Golfo de Oman, Mar Arábigo	Petróleo	Colisión con buque	115.000
Urquiola	1976	La Coruña, España, Océano Atlántico	Petróleo	Encallamiento	100.000
Hawaiian Patriot	1977	A 1.300 km de Honolulu, Hawaii	Petróleo	Falla estructural del casco	95.000
Jacob Maersk	1975	Oporto Portugal, Océano Atlántico	Petróleo	Encallamiento	88.000
Braer	1993	Islas Shetland, Reino Unido, Océano Atlántico	Petróleo	Encallamiento	84.000
Prestige	2002	Golfo de Galicia, España, Océano Atlántico	Petróleo	Falla estructural del casco	77.000
Aegean Sea	1992	La Coruña, España, Océano Atlántico	Petróleo	Encallamiento	74.000
Fu Shan Hai	2003	Mar Báltico	Fertilizante de potasa	Colisión con buque	68.000
Trans Summer	2013	Bahía de Hong Kong, República de China	Mineral de níquel	Escora por Licuefacción	57.000
Continental Lotus	1991	A 300 km de Malta, Mar Mediterráneo	Mineral de hierro	Falla estructural del casco	52.000
Castillo de Salas	1986	Gijón, Mar Cantábrico, España	Carbón	Marejada/Encallamiento	45.000
Gulser Ana	2009	Sur de Madagascar, Océano Índico	Roca fosfórica	Encallamiento	39.000
Exxon Valdez	1989	Prince William Sound, Alaska, EE.UU	Petróleo	Encallamiento	37.000
Albion II	1997	Mar de Iroise, Golfo de Vizcaya, Atlántico	Acero, soda cáustica, otros	Falla estructural del casco	24.000
Yuyo Maru No. 10	1974	Bahía de Tokio, Japón	Nafta, butano, propano	Colisión con buque	20.600
Eurobulker IV	2000	Canal de San Pietro, Cerdeña, Italia	Carbón	Colisión con rocas del canal	17.000
Adamandas	2005	Isla de la Réunion, Océano Índico	Hierro desoxidado	Explosión	12.000
Hebei Sprit	2007	Taean, Mar Amarillo, Corea del Sur	Petróleo	Colisión con barcaza	11.000
Ece	2006	Canal de la Mancha	Ácido fosfórico	Colisión con buque	10.000
Allegra	1997	Canal de la Mancha	Aceite de palma	Colisión con buque	9.000
Weisshorn	1994	Guadalquivir, Andalucía, Mar Atlántico	Arroz	Colisión con rocas del canal	6.200
Rama 2	2017	Isla de Socotra, Golfo de Aden, Mar Arábigo	Petróleo	Falla estructural del casco	5.600
Jambo	2003	Loch Broom, Escocia, Mar del Norte	Sulfuro de zinc	Encallamiento	3.300
Xinbaotai 1	2017	Isla Weizhou, Golfo de Tonkin, sur de China	Mineral	Encallamiento	3.250
Grape One	1993	Canal de la Mancha	Xileno (hidrocarburo)	Falla estructural del casco	3.000
Anis Rose	1996	A 93 km de la costa de Cerdeña, Italia	Mineral de cromo	Naufraga por mal tiempo	2.700
Fenes	1996	Islas Lavezzi, Mar Mediterráneo	Trigo	Encallamiento	2.600

Tabla No. 1. Vertido de cargas al mar a gran escala (en toneladas métricas). Fuente: elaboración propia

El conocimiento científico sobre la dimensión del impacto del transporte marítimo internacional asociado con el medio ambiente se amplía cada vez más con el tiempo. De hecho, las operaciones de envío de mercancías en buques: Bulk Carrries, OilTanker, Ro-Ro, interactúan con el medio ambiente de muchas maneras, ya sea accidental por explosiones/incendios a bordo, colisiones entre buques, falla estructural del casco, marejadas, descuido de la tripulación, accidentes por operaciones de rutina o vertidos operacionales, a menudo espectaculares, vertido de agua de sentina, agua de limpieza de tanques de lastre, agua de limpieza de bodegas, o vertido de combustibles en la operación de suministro al buque, y operación y transferencia ilegal de carga, adicionalmente a esto, la negligencia de la tripulación.

En el período de 1970 a 2017, el 50% de los grandes vertimientos de petróleo crudo ocurrieron mientras los buques estaban en tránsito en aguas abiertas. Tales interacciones han generado daños sustanciales a los ecosistemas marinos (Michel Girin et Emina Mamaca, 2010), y en efecto, los mayores vertidos de mercancías al mar ocurren dentro de los límites de los grandes ecosistemas debido a que las principales las rutas globales mercantes pasan a través de ellos. Las aves marinas son especialmente vulnerable porque solo pequeñas can-

tidades de petróleo pueden provocar la pérdida de aislamiento térmico del plumaje, lo que lleva a la hipotermia y pérdida de sus habilidades de flotabilidad y vuelo. Este fenómeno (Rogowska, J. & Namiesnik, J., 2010) afecta a otros animales que usan pelo o grasa para su termorregulación, por ejemplo, focas, nutrias marinas, leones marinos, ballenas y delfines. Otros efectos incluyen la obstaculización física de oxígeno y la transferencia de luz solar en el agua causada por la mancha de petróleo. Este efecto conduce a la anoxia en aguas poco profundas y reduce las capacidades para la fotosíntesis, afectando negativamente el ecosistema marino.

i. Caída de contenedores al mar

En lo que respecta a los buques portacontenedores -transportan la mayoría de los productos manufacturados del mundo en contenedores estandarizados que también pueden ser transportados por ferrocarril y camión- son más grandes y más rápidos que los Bulk Carrries, OilTanker –transporte de materias primas- y que los Ro-Ro –transporte de vehículos- ya que pueden transportar hasta 18.000 contenedores (mega-buque) en un sólo buque (economía de escala) siendo el principal tipo de carga -contenedorizada- de comercio Asia-Europa. En este tipo de mega-buque todo cohabita, en sus «cajas de acero» se transporta: alimento para consumo humano y animal, fertilizantes, pesticidas, herbicidas, juguetes, electrodomésticos, piezas eléctricas, aparatos electrónicos, ropa, artesanías, productos comunes, mercancías peligrosas –productos inflamables, tóxicos, corrosivos, oxidantes, contaminantes marinos, sustancias reactivas al aire, al agua, explosivos o incluso radiactivos-.

Por valor de bienes transportados, este segmento es el más grande, con más del 50% transportados por mar a nivel global. Las grandes rutas comerciales de carga contenedorizada están ubicadas entre continentes, principalmente en el norte América a Europa y al sudeste de Asia. Posibles rutas futura podrían reducir las distancias de transporte internacional al tiempo que aumentan los impactos ambientales en la región ártica. Tales «mega buques» pueden prometer mayor eficiencia y economía de escala, pero también aportan nuevos desafíos de riesgo, como las operaciones de salvamento y la disponibilidad de puertos de refugio adecuados en caso de un incidente.

Dos tipos de accidentes muy comunes se presentan en el transporte marítimo internacional de contenedores: 1. Caída de contendores al mar por la borda del buque debido a tormentas, huracanes, tifones, marejadas. 2. Naufragio o hundimiento del buque mientras transita por el mar de un puerto de origen a un puerto de destino, debido a encallamiento, falla estructural o mecánica, colisión, fuego o explosión. Una vez el contendor cae del buque al mar o se hunden y tocan el lecho marino -generando impactos ecológicos-, o flotan a la deriva generando, en ambos casos, riesgos de navegación, riesgos ambientales y riesgos humanos. Se estima que 10.000 contenedores, equivalente a 41.500 TM de acero contaminante, caen anualmente a los océanos del mundo por la borda de los buques mercantes (IMO, 2004). Los pesos máximos promedio de la carga útil de los contenedores de 20 y 40 pies oscilan entre 26 y 29 TM. Usando el peso promedio del contenedor, es concebible que 100.000 TM de sustancias estibadas en su interior, muchas de las cuales pueden ser dañinas, caigan cada año al mar en contenedores por la borda de los buques. Esta cifra representa aproximadamente el 1,5% de las 6,4 millones de TM de basura que se cree que ingresan a los océanos del mundo cada año (Oren T. Frey and Andrew P. DeVogelaere, 2014)

Recientemente se han producido varios incendios y explosiones en buques portacontenedores en alta mar, lo que suscita preocupación de que los sistemas de seguridad no han seguido el ritmo de los tamaños de los buques. A mayor estiba de contenedores en un mega-portacontenedor -18.000 contenedores- significa todo un desafío a la tripulación en caso de ubicar el contenedor causante de un incendio o explosión en alta mar. Se estima que más de un tercio de los contenedores que contienen mercancías peligrosas están marcados

incorrectamente y llevan sobre peso -alteración de documentos- mientras que aproximadamente uno de cada cinco contenedores que transitan por el mundo tiene algún defecto. De igual forma, si la se documenta incorrectamente –ficha técnica errada- en caso de incendio en alta mar, las tripulaciones ignorarían la manera más adecuada y segura de extinguirlo.

Finalmente, en la Tabla No.1 se observa que el tonelaje de mercancías vertidas al mar en la última década ha descendido notablemente en comparación a las décadas anteriores, se podría pensar que esto sea un reflejo de que la seguridad ha ido mejorando en los últimos años, impulsada por la regulación en constante evolución y desarrollo de una cultura de seguridad marítima. Es posible que muchos armadores, actualmente, sean mucho más proactivos de lo que eran en el pasado en lo que respecta a las sustentabilidad del transporte y han reconsiderado la importancia de la sostenibilidad de sus operaciones globales, o tal vez, sea el reflejo de una reducción generalizada en la demanda -crisis financiera de 2008, y otros fenómenos económicos-, y no de la seguridad en lo que respecta al transporte marítimo internacional, ya que a cinco décadas del siniestro ecológico del *Torrey Canyon* -primer buque en tránsito internacional en verter petróleo crudo al mar- en 2016 el buque *New Mykonos* naufraga con 160.000 TM de carbón provocando un nuevo desastre ambiental.

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU IMPACTO EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO INTERNACIONAL

En las últimas dos décadas, la aceleración de la globalización económica ha revolucionó la interacción entre todos los países del mundo. Por tanto, la nueva organización de flujos de bienes refleja el aumento en la movilidad global. Esta movilidad se basa en algunas rutas marítimas, utilizando pasajes que en la actualidad se saturan gradualmente, tales como el Canal de Suez (principal ruta de comercio marítimo entre el Norte Asia Oriental y Europa Noroccidental, con 193 km de longitud, toma 12-16 horas navegarlo) y el Canal de Panamá (el 13% de la carga es carga de tránsito entre la Costa Oeste de EE.UU., con 82 km de longitud, toma 8-10 horas navegarlo) y los estrechos de Gibraltar y Malaca.

En efecto, los principales centros de producción y consumo global corresponden a la nueva tríada extendida (Europa, América del Norte y el noreste de Asia). Hoy, el comercio de productos manufacturados entre Asia y Europa sigue un movimiento desequilibrado entre el área de producción asiática (que es un fuerte exportador) y el mercado de consumo europeo que está orientado en gran medida a la importación. Es decir, los flujos de los bienes permanecen confinados esencialmente al hemisferio norte. Esta aceleración de la globalización económica ha crecido a través del aumento en la capacidad para gestionar cadenas logísticas globales de suministro y en la evolución en los modos de transporte, pero, en este proceso, las principales rutas marítimas internacionales del comercio han cambiado muy poco a la fecha, en comparación a otros aspectos de la globalización y el comercio. En este contexto, surge la cuestión de la apertura de nuevas rutas comerciales internacionales.

Sin embargo, el calentamiento global, que provoca el deshielo gradual del hielo Ártico sugiere la posibilidad del tráfico marítimo a lo largo de la región Ártica. Tres nuevas vías marítimas (rutas trans-árticas, Figura 1) son cada vez más factibles (Melia, N., Haines, K., & Hawkins, E. 2016). El Ártico se está calentando dos veces más rápido que el resto del planeta y el La capa de hielo marino del Océano Ártico está experimentando una profunda transformación que no había experimentado en milenios. El aumento del CO_2 atmosférico (Scott C. Doney et al., 2012) está causando el aumento de la temperatura del océano y de la atmósfera, lo que a su vez impulsa el aumento del nivel del mar, el retroceso del hielo marino y la alteración de los patrones de viento. Los efectos del cambio climático son particularmente llamativos para los polos y los trópicos, debido a la sensibilidad de los ecosistemas polares a la retirada del hielo marino.

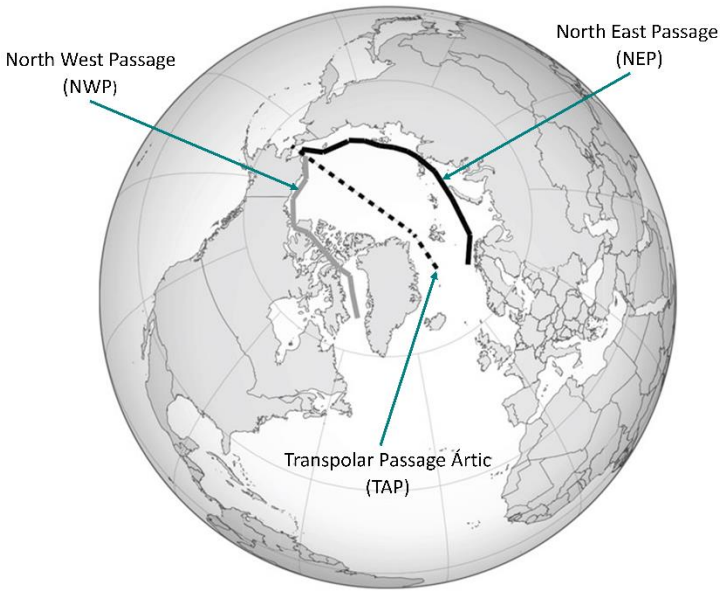

Figura 1. Rutas trans-árticas factibles a 2040. Fuente: Arctic marine shipping assessment, 2018

Rutas trans-árticas factibles a 2040:

- ***Ruta North West Passage (NWP)*** *o Paso del Noroeste a través del Archipiélago Ártico Canadiense (San Juan, Terranova, Canadá), transita aguas territoriales de Estados Unidos y Canadá, a Europa (Aberdeen, Reino Unido). El Paso del Noroeste (NWP), una vez se fusione el hielo, cambiará la demanda del Paso del Noreste (North East Passage, NEP) a través de una mayor competencia.*

- ***Ruta Transpolar Ártic Passage (TAP)*** *o Paso Transpolar, también conocida como Arctic Central Passage (ACP) con 2.778 kilómetros de longitud, va desde Europa (Aberdeen, Reino Unido) a través del estrecho de Fram a través del Polo Norte al estrecho de Bering, con profundidad media de 1.000 metros, es la única ruta internacional, de las tres trans-árticas, que no tiene jurisdicción de los Estados Árticos (Canadá, Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega, Suecia, Rusia, EE. UU.). En términos geográficos la (TAP) proporciona la distancia más corta, en transporte, de los tres pasajes entre los océanos Atlántico y Pacífico. En la actualidad ningún buque mercante ha transitado a través del paso Transpolar.*

- ***Ruta North East Passage (NEP)*** *o Paso del Noreste, transita aguas jurisdiccionales rusas a lo largo de la costa siberiana desde Murmansk (Rusia) hasta el cabo Dezhnev en el estrecho de Bering (la Ruta del Mar del Norte (NSR) es la parte principal). La mayoría de los puertos del Pacífico Norte en Asia están más cerca de Londres en el Atlántico a través de la NEP que a través del Suez. La ruta de navegación entre Europa y los puertos de Asia oriental a través del Océano Ártico a lo largo de la ruta (NEP) es aproximadamente 11.000 kilómetros más corta (43% más corta) que la ruta alrededor del Cabo de Buena Esperanza (África) y es 5.000 kilómetros más corta (25% más corta) que la ruta de Europa a Asia del Este a través de Canal de Suez (evitando Eurasia por el Océano Ártico) lo que permite ahorrar tiempo y consumo de combustible. La Ruta (NEP) se está convirtiendo en una opción factible para los flujos de mercancías de contenedores entre Asia y Europa, especialmente a la luz de las rutas actuales de transporte marítimo cada vez más congestionadas, como lo es el Canal Suez que sirve al mercado de Asia y Europa. Se estima que la NEP permite ahorros del 40 al 50% de la distancia de navegación desde Asia (Yokohama) a Europa (Rotterdam, y 40% menos que la ruta del Canal de Suez (Michael C. Ircha & John Higginbotham, 2016; Julia Pahl & Brooks A. Kaiser, 2018). La ciudad de Tromsø en*

el norte de Noruega y Vancouver en la costa oeste canadiense están separadas 6.200 km utilizando la NEP en lugar de la ruta por el Canal de Panamá.

- *Los pasajes Nordeste y Noroeste se perciben a menudo como carriles marinos costeros, mientras que se asume que el Paso Transpolar es una ruta en medio del océano a través del Polo Norte hacia y desde los puertos en el Pacífico y el Atlántico. Los tres corredores ocupan todo el Océano Ártico, que cubre un área de 14,75 millones de kilómetros cuadrados y tiene un volumen de 18 millones de kilómetros cúbicos de agua. La falta de coordenadas geográficas precisas en la dirección norte-sur deja al derecho internacional para delimitarlas entre sí.*

El calentamiento global y consecuentemente, el cambio climático es la causa principal de que el hielo y el permafrost del Ártico se fusione con rapidez cambiando los costos y beneficios para el transporte de rutas entre los océanos Atlántico y Pacífico, y más en general, para la actividad económica marítima en el Ártico, a prosperidad de algunos y a disgusto de otros Las observaciones de satélite han revelado que la región está perdiendo hielo marino a un ritmo dramático y se espera que este declive continúe Si la tendencia actual del cambio climático prevalece, la desaparición del hielo marino ártico será antes de 2040(Lindsay, R., & Schweiger, A., 2015). Esta pérdida de hielo marino está creando nuevas oportunidades para enlaces de comercio global más cortos entre el este de Asia y el Reino Unido a través del Ártico.

Lo anterior, en beneficio de armadores, industria naviera y transportistas globales, se traduce en un Océano Ártico con rutas más cortas y dramáticas disminuciones en los costos de tránsito y emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI). Esto crearía la mayor reestructuración de las rutas comerciales marítimas a nivel global desde la apertura de la ruta del Canal de Panamá en 1914. Ya que el cambio climático también afectará en gran medida el Canal de Panamá (Michele Acciaro, 2016), el impacto puede ser tan catastrófico, que la Convención Marco sobre el Cambio Climático ha incluido a Panamá entre las regiones más vulnerables del mundo en términos de cambio climático. Los siguientes impactos específicos se darán en las operaciones del Canal de Panamá: reducción de carga y tránsito de buques; lluvias, niebla y ráfagas de viento que afectan la visibilidad y obstaculizan las operaciones de navegabilidad; sequía que limita la navegabilidad a lo largo del Canal -períodos prolongados de sequía reducen el nivel de agua en el lago Gatún-; inundaciones y deslizamientos de tierra que afectan la maniobrabilidad de los buques (encallamiento).

En la actualidad, el Ártico atrae la atención económica por tres razones principales: su abundancia de recursos estratégicamente importantes y explotables, la rápida disminución del hielo marino, y su acceso directo a los tres continentes más industrializados y desarrollados del mundo. Las aguas del Ártico se vuelven más azules, más accesibles, explotables y cada vez más atractivas para la utilización económica. De acuerdo con el Servicio Geológico de los Estados Unidos, el 22% de los el petróleo y el gas natural no descubiertos del mundo se encuentran en el Ártico y la mayor parte afuera de la costa en aguas árticas controladas por Rusia. Lo anterior, indica que el cambio climático está integrando el círculo polar Ártico cada vez más con la economía mundial a través de la fusión del hielo marino y la desaparición del permagel (hielo permanente), ya que permitirá la extracción y comercialización de los vastos recursos minerales y energéticos, que no incluyen sólo petróleo y gas natural (Willy Østreng, et al., 2013), sino también un conjunto de minerales duros: cobre, níquel, paladio, zinc, cobalto, tungsteno, oro, hierro, carbón, diamantes, uranio, estaño, plata, tierras raras, fosfatos, niobio, tantalita y yeso, generando otra fuente de aumento de tráfico marítimo internacional.

Este nuevo desarrollo económico requerirá de una nueva logística del transporte marítimo internacional que pueda operar de manera segura y efectiva en las previsibles rutas comerciales a través del Océano Ártico. Sin embargo, en el otro lado del espectro, están las desventajas: la explotación de recursos en el Ártico, como el

paso de los buques mercantes, presenta el problema de la relación entre el desarrollo económico y la protección del medio ambiente ártico, esto puede dar como resultado un daño irreparable en el entorno ambiental.

Cuando se comparan los aspectos de ahorro de costos del uso de los tres pasajes árticos en lugar del Canal de Suez entre Yokohama y Hamburgo y entre Shanghai y Hamburgo, las alternativas del Ártico resultan ser las más económicas (Véase Tabla No 2). Existe una ventaja obvia y, a veces considerable, de distancia, en el uso del Océano Ártico entre los puertos del Pacífico y los del Atlántico, en comparación con el Canal de Suez y Canal de Panamá. La mayor parte de la costa oeste norteamericana, la costa Este rusa, Japón, Corea del Norte y China están más cerca de la Unión Europea-Área económica Europea a través del Ártico que a través del Mediterráneo. Así visto, el Océano Ártico es de hecho un «Mediterráneo industrial» un atajo entre las regiones más industrializadas del mundo. Los desafíos de este nuevo desarrollo económico y del aumento de la actividad comercial, de cumplirse, dberán hacerse sin comprometer ya sea la seguridad de la vida en el mar y la sostenibilidad del ambiente polar, pues se ha demostrado (Aksenov, Y., Popova, E. E., Yool, A., Nurser, A. G., Williams, T. D., Bertino, L., & B.J., 2017) que los pasajes árticos son competitivos con las rutas clásicas del Canal de Panamá y Canal de Suez.

Puerto	Canal de Panamá (CDP)	Pasaje Noroeste (NWP)	Pasaje Noreste (NEP)	Suez y Malaca (SYM)	Diferencia (%)	
	(km)				(NWP)	(NEP)
					(CDP)	
London - Yokohama	23.300	15.930	13.841	21.200	32	68
Marsella - Yokohama	24.030	16.720	17.954	17.800	30	34
Marsella - Singapore	29.484	21.600	23.672	12.420	27	25
Marsella - Shanghai	26.038	19.160	19.718	16.460	26	32
Rotterdam - Singapore	28.994	19.900	19.641	15.750	31	48
Rotterdam - Shanghai	25.588	17.570	15.793	19.550	31	62
Hamburg - Seattle	17.110	15.270	13.459	29.780	11	27
Rotterdam - Vancouver	16.350	14.330	13.445	28.400	12	22
Rotterdam - Los Ángeles	14.490	15.790	15.252	29.750	-9	-5
Gioia Tauro - Hong Kong	25.934	24.071	21.556	14.093	7	20
Barcelona - Hong Kong	25.044	23.179	20.686	14.693	7	21
Nueva York - Shanghai	20.880	17.030	19.893	22.930	18	5
Nueva York - Hong Kong	21.260	18.140	20.982	21.570	15	1
Nueva York - Singapore	23.580	20.310	23.121	18.770	14	2

Tabla No.2. Distancia entre puertos marítimos. Fuente: elaboración propia a partir de www.sea-distances.org

A mediados del presente siglo el tránsito de buques mercantes cargados desde el este de Asia al Reino Unido podría ahorrar 10-12 días utilizando las rutas trans-árticas en lugar de la ruta del Canal de Suez. Para el transporte marítimo global, las rutas trans-árticas ofrecerán la oportunidad para reducir considerablemente las distancias de viaje entre Europa y el Lejano Oriente y de este modo ahorrar en combustible, mano de obra y emisión de gases efecto invernadero (GEI). A modo de ejemplo setiene: Un buque mercante quema alrededor de 30 TM de fuel oil pesado por día, a un costo de USD $ 650 / TM. El tiempo de viaje ahorrado transitando la ruta (NEP) en comparación con la ruta por el Canal de Suez es de 21 días, por lo tanto, se ahorraron 42 días en una ida y vuelta, o 1.260 TM de fuel oil quemado, que es un ahorro de aproximadamente USD $ 820.000

Con rutas marítimas más cortas, el transporte trans-ártico a través de alta mar polar, plantea importantes problemas de gobernabilidad. Uno de estos se relaciona con la respuesta -contención, recuperación y restauración- al vertimiento (derrame) de hidrocarburos de petróleo por parte de buques tanqueros. Desde el desastre ecológico generado por el *Torrey Canyon,* en marzo de 1967, en el Canal de la Mancha, la industria naviera

ha sido protagonista de una importante cuantía de vertimientos de petróleo y daños severos al ambiente marino. Pero, debido al hecho de que un Estado Ártico (Canadá, Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega, Suecia, Rusia, EE. UU.) sólo tiene jurisdicción costera sin extensión a alta mar, los buques en tránsito por el Polo Ártico que vertieran petróleo estarían sujetos a la seguridad marítima internacional y las normas y estándares ambientales establecidos por una organización internacional competente -sólo para alta mar, y fuera de las zonas económicas exclusivas- (UNCLOS, 1982).

Es decir, en virtud del régimen jurídico internacional, las aguas internacionales, incluido el Norte Polo y la región del Océano Ártico que lo rodea (Casquete Polar Ártico) no pertenecen a ninguno de los Estados Árticos, son "*patrimonio común*" de la humanidad. Y dado que si la tendencia actual del cambio climático prevalece, la desaparición del hielo marino ártico será antes de 2040 (Tschudi, M. A., Stroeve, J. C., & S.J., 2016), esto permitirá el desarrollo de las rutas trans-árticas para el tráfico de buques mercantes, acompañadas con un crecimiento de un sin número de plataformas offshore de petróleo y gas natural, expuestas a mayores riesgos en términos de impacto ambiental al medio ambiente Ártico -sus recursos vivos y su biodiversidad-, dejando la sostenibilidad del ambiente Ártico en una posición totalmente vulnerable. Es el caso del vertimiento de petróleo en aguas antárticas, su impacto ambiental se estableció "a largo plazo" debido a que el petróleo resiste durante más tiempo las condiciones gélidas porque se evapora muy lentamente o porque al quedar atrapado dentro o debajo del hielo, es menos accesible a la degradación bacteriana (World Wildlife Fund, 2007).

CONCLUSIONES

- El calentamiento global tiene un impacto directo en los océanos del mundo.
- El cambio climático causado por el calentamiento global se producirá con mayor rapidez a mediado del presente siglo transformando el Océano Ártico de un área intransitable a un mar plenamente navegable.
- Las tendencias actuales en el tráfico marítimo internacional indican que un cambio de paradigma ya ha comenzado dadas las ventajas que ofrecen las rutas marítimas árticas más cortas.
- El Ártico es un nuevo campo prometedor para las actividades económicas y los mercados emergentes; el hecho de que varias partes interesadas ya han utilizado el término el «Mediterráneo industrial del futuro»
- La factibilidad de rutas marítimas entre Asia y Europa a través del Ártico reduciría las distancias de envío hasta en 9.600 kilómetros, acortando el tiempo de tránsito en un estimado del 30%, reestructurando las rutas comerciales marítimas a nivel global desde la apertura de la ruta del Canal de Panamá en 1914.
- Los pasajes árticos son competitivos con las rutas clásicas del Canal de Panamá y Canal de Suez.
- La contracción del casquete polar no sólo reactivaba antiguas ambiciones sobre el transporte de mercancías en el Ártico, sino el delicado inconveniente político de reconocer ¿cuál de los pasajes, el del Noroeste o del Noreste, es un estrecho internacional?
- El aumento del transporte marítimo mercante por las rutas trans-árticas plantea una amenaza de daño significativo al ambiente marino y a sus recursos vivos. La región ártica es vulnerable debido a la ausencia de legislación jurídicamente vinculante cuyo objetivo debería ser el de lograr un equilibrio entre la protección del ecosistema marino Ártico y la explotación comercial que continúa hoy, y en contra de una mayor explotación que comenzará mañana.
- Las emisiones de CO_2, producto del transporte marítimo internacional, aumentarán significativamente en las próximas décadas, entre un 50% y un 250%, dependiendo de crecimiento económico y del desarrollo energético futuro.
- A medida que aumenta la contracción del Casquete Polar Ártico mayor es la factibilidad de rutas trans-árticas, lo que implica un elevado potencial de descargas de agua lastre, acompañadas de bio-invasiones inducidas (bio-incrustantes en los cascos de los buques), contaminación biológica (mayor temperatura y menor

salinidad, principal vector para introducción de especies invasoras), y pérdida de biodiversidad del ecosistema Ártico.

Referencias

Aksenov, Y., Popova, E. E., Yool, A., Nurser, A. G., Williams, T. D., Bertino, L., & BJ (2017). On the future navigability of Arctic sea routes: High-resolution projections of the Arctic Ocean and sea ice. Marine Policy, 75, 300–317.

ANCP, Arctic Nautical Charting Plan. (2016). U.S. Arctic Nautical Charting Plan: NOAA Office of Coast Survey. Marine Chart Division, 7. February 15.

Andrés Hugo Arias & Jorge Eduardo Marcovecchio. (2018). Marine pollution and climate change, CRC Press Taylor & Francis Group, Pp. 337, ISBN 9781482299441

Buhaug, Ø., Corbett, J.J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D.S., Lee, D., Lindstad, H., Markowska, A.Z., Mjelde, A., Nelissen, D., Nilsen, J., Pålsson, C., Winebrake, J.J., Wu, W., Yoshida, K, (2009) Second IMO GHG study, London. International Maritime Organization (IMO), UK, Pp. 240

Comiso, Josefino C. and Dorothy K. Hall. (2014). Climate trends in the Arctic as observed from space WIREs. Advanced Review. Clim Change 5:389–409.

Diego Meseguer., YebraSørenKiil and Kim Dam-Johansen. (2004). Antifouling technology - past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. Progress In Organic Coatings,. 50(2): p. 75-104.

Eyring, Veronika., Isaksen, Ivar S. A., Berntsen, Terje, Collins, William J. Corbett, James J., Endresen, Oyvind., Grainger, Roy G., Moldanova, Jana., Schlager, Hans and Stevenson, David S. (2010).Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping. In: Atmospheric Environment, Vol. 44, No. 37, 12.2010, p. 4735-4771

Fredrik J. Lindgren, Magda Wilewska-Bien, Lena Granhag, Karin Andersson and K. Martin Eriksson. (2016). Discharges to the Sea. In: Shipping and the environment, Improving environmental performance, In marine transportation, Karin Andersson, Selma Brynolf, J. Fredrik Lindgren and Magda Wilewska-Bien. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 436 Pages, ISBN 978-3-662-49045-7

Gregory, Murray R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings--entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364 (1526), 2013–2025.

Harrould-Kolieb & E, Savitz J. (2010). Shipping solutions: technological and operational methods available to reduce CO_2. Oceana, Washington, Pp. 26

Helene Marsh & Amanda J. Hodgson (2007). Response of dugongs to boat traffic: The risk of disturbance and displacement. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 2007. 340(1): p. 50-61.

Hulda Winnes, Linda Styhre, & Erik Fridell. (2015). Reducing GHG emissions from ships in port areas. Research in Transportation Business & Management, 17, 73–82.

International Maritime Organization, IMO. (2004). Document DSC 9/5/1: Impact of container transport: proposed measures to reduce environmental impact of containers, Submitted by Friends of the Earth International (FOEI) to the IMO DSC Subcommittee July 22

International Maritime Organization, IMO. (2015). Third IMO GHG Study 2014 Executive Summary and Final Report. Published in 2015 by the International Maritime Organization, 4 Albert Embankment, London SE1 7SR, Pp 327.

Julia Pahl and Brooks A. Kaiser. (2018). Arctic port development, In: Niels Vestergaard, Brooks A. Kaiser, Linda Fernandez & Joan Nymand Larsen, Arctic marine resource governance and development, Springer Publishing, Pp. 242, ISBN 978-3-319-67365-3

Laist, D.W. (1997). Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records. Chap. 10. In Marine Debris, J.M Coe and D.B Rogers (eds.). Springer Series on Environmental Management, 99–139: Springer New York

Lasserre, F. (2014) Case studies of shipping along arctic routes. analysis and profitability perspectives for the container sector. Transp. Res. Part A Policy Pract. 66, 144–161

Lindsay, R., & Schweiger, A. (2015). Arctic sea ice thickness loss determined using subsurface, aircraft, and satellite observations. The Cryosphere, 9(1), 269–283.

Matej David & Stephan Gollasch. (2015). Global maritime transport and ballast wáter management, Issues and solutions, Springer Science+Business Media Dordrecht, Pp. 317, (eBook) ISBN 978-94-017-9367-4

Melia, N., Haines, K., & Hawkins, E. (2016). Sea ice decline and 21st century trans-Arctic shipping routes. Geophysical Research Letters, 43(18), 9720–9728.

Michael C. Ircha and John Higginbotham. (2016). Canada's arctic shipping challenge, Chapter 15. In A. K. Y. Ng, A. Becker, S. Cahoon, S. -L. Chen, P. Earl, & Z. Yang (Eds.), Climate change and adaptation planning for ports (Routledge studies in transport analysis, pp. 232–245). NewYork: Routledge.

Michel Girin et Emina Mamaca. (2010). Pollutions chimiques accidentelles du transport maritime, Éditions Quæ RD 10 78026 Versailles Cedex, France, 164 Pages, ISBN: 978-2-7592-0604-9, ISSN 2105-8830

Michele Acciaro. (2016). Climate change adaptation in the Panama Canal. Chap 12. In: Climate change and adaptation planning for ports, Adolf K. Y. Ng, Austin Becker, Stephen Cahoon, Shu-Ling Chen, Paul Earl and Zaili Yang., 1st Edition, Routledge, Pp. 319, (ebk) ISBN: 978-1-315-75681-3.

Ng, A. K. Y., & Song, S. (2010). The environmental impacts of pollutants generated by routine shipping operations on ports. Ocean and Coastal Management, 53(5), 301–311

Oren T. Frey and Andrew P. DeVogelaere. (2014). The containerized shipping industry and the phenomenon of containers lost at sea, Marine sanctuaries conservation, Series ONMS-14-07, Pp. 58

Pei-Yuan Qian., Stanley C K Lau., Hans-Uwe Dahms and Tilmann Harder. (2007). Marine biofilms as mediators of colonaziation by marine microorganisms: Implications for Antifouling and Aquaculture. Marine Biotechnology, (4): 399-410.

Rogowska, J. & Namiesnik, J. (2010). Environmental implications of oil spills from shipping accidents. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. Vol. 206., New York: Springer. 95-114.

Scott C. Doney, Mary Ruckelshaus, J. Emmett Duffy, James P. Barry, Francis Chan, Chad A. English, Heather M. Galindo, Jacqueline M. Grebmeier, Anne B. Hollowed, Nancy Knowlton, Jeffrey Polovina, Nancy N. Rabalais, William J. Sydeman, and Lynne D. Talley. (2012). Climate change impacts on marine ecosystems. Annual Review of Marine Science, 4(1): p. 11-37

Takahashi, C. K., Lourenco, N. G. G. S., Lopes, T. F., Rall, V. L. M. & Lopes, C. A. M. (2008). Ballast water: A review of the impact on the world public health, Venom. Anim. Toxins incl. Trop. Dis., 14(3): p. 393-408.

Tschudi, M. A., Stroeve, J. C., & S.J. (2016). Relating the age of Arctic sea ice to its thickness, as measured during NASA's ICESat and IceBridge campaigns. Remote Sensing, 8(6), 457.

United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS. (1982). Part XII Protection and Preservation of the Marine Environment, Section 2. Global and Regional Cooperation, Art. 211

Willy Østreng, Karl Magnus Eger, Brit Fløistad, Arnfinn Jørgensen-Dahl, Lars Lothe, Morten Mejlænder-Larsen and Tor Wergeland. (2013). Shipping in arctic waters a comparison of the northeast, northwest and trans polar passages, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 414 pages, ISBN 978-3-642-16790-4

World Wildlife Fund. (2007). Oil spill: response challenges in arctic waters. norway: WWF International Arctic Programme

Wright, S. L., Thompson, R. C. & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. Environmental Pollution, 178 (0): p. 483-492.