

Clima de los Grandes Lagos



Clima de los Grandes Lagos

Aunque los Grandes Lagos son un sistema de lagos, y no vastos océanos, sus aguas y sus 10,000 millas (16,000 kilómetros) de costa están sujetos a muchos peligros, muchos de los cuales pueden ser dañinos o incluso mortales para quienes viven y trabajan alrededor de los Grandes Lagos (4, 53). Muchos de estos peligros están relacionados con el clima y son el resultado de cambios en la velocidad y dirección del viento, la presión atmosférica (53), la temperatura del aire y del agua (33) o la calidad del agua (58). Cuando ocurren estos cambios, los Grandes Lagos pueden experimentar muchos eventos peligrosos. Viviendo con el Clima explora esos eventos, la seguridad y los peligros.

Peligros e impactos de los Grandes Lagos

Marejada ciclónica

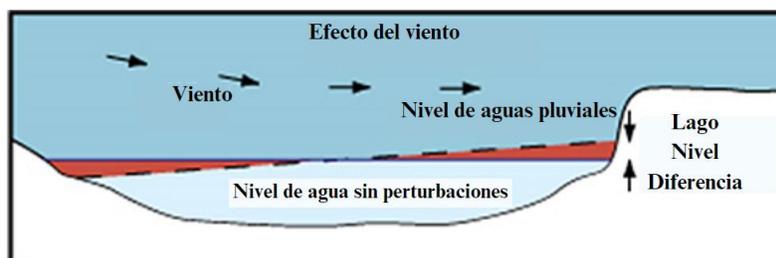


Figura 1: Representación de la marejada ciclónica cortesía de Michigan Sea Grant

Descripción:

Una marejada ciclónica es un evento que ocurre cuando fuertes vientos tormentosos fluyen sobre largas extensiones de agua abierta durante períodos prolongados, empujando la superficie del agua y aumentando la cantidad y altura del agua superficial a favor del viento (53, 60) (Figura 1). La marejada ciclónica continuará mientras los fuertes vientos tormentosos empujen el agua hacia la costa (53).

La altura de la marejada ciclónica depende de la velocidad del viento que la produce, y los vientos más fuertes producen marejadas mayores. Por lo general, los vientos pueden producir marejadas ciclónicas de entre uno y dos metros y medio en los Grandes Lagos. De todos los Grandes Lagos, las costas occidentales y orientales del lago Erie son particularmente propensas a grandes marejadas

ciclónicas, y las bahías con poca profundidad también son susceptibles (53). Las marejadas ciclónicas pueden ocurrir inesperadamente y eventos importantes pueden causar encallamientos, daños o pérdida de buques, así como problemas adicionales de inundaciones y daños a las costas (52).

Impactos:

Halloween de 2014 trajo un evento de fuertes vientos al lago Michigan y, en particular, a Chicago, Illinois. Vientos de más de 58 mph (93.3 km/h) soplaron sobre el lago Michigan, lo que provocó que las olas alcanzaran alturas de 21.7 pies (6.6 m) en una boya marina, el segundo evento de olas más alto desde que comenzaron las observaciones con boyas del lago Michigan en 1981. Como resultado, la marejada ciclónica cubrió el carril en dirección norte de Lakeshore Drive (Figura 2) justo cuando se acercaba la hora pico de la tarde. Bridgeman, Michigan, también sintió los efectos de la marejada ciclónica cuando una planta nuclear local tuvo que cerrar durante varios días debido a una combinación de los efectos de los niveles de agua ya altos y la marejada ciclónica que bloqueó sus túneles de entrada (45).



Figura 2: Marejada ciclónica en Lakeshore Drive en Chicago, Illinois, el 31 de octubre de 2014.
Crédito de la foto: Todd Arkebauer, blog del WGN Weather Center.

Del 19 al 20 de noviembre de 2016, vientos increíblemente fuertes soplaron a través de los Grandes Lagos con tal fuerza que se levantaron olas de 24 pies (7.3 m) en el Lago Superior, lo que provocó un aumento de la erosión costera y daños a la infraestructura costera (47).

Seiches

Descripción:

Un seiche es similar a una marejada ciclónica, pero es único en el sentido de que debe ocurrir dentro de una masa de agua confinada, como un lago, e implica una oscilación en forma de onda de la altura del agua entre dos aguas opuestas. extremos de ese cuerpo de agua (35, 52). En otras palabras, un seiche se crea cuando una tormenta fuerte, o cualquier otro evento climático que cause un cambio en la presión del aire y la velocidad del viento, ejerce una fuerza sobre el lago y empuja el agua hacia un extremo del lago, creando un excedente de agua. en un extremo y robándole el agua al otro. Cuando el fenómeno meteorológico ha pasado, el excedente de agua que se comprimió en un extremo del lago regresa al lago hacia la orilla opuesta. Luego, el movimiento hace que el agua salpique hacia adelante y hacia atrás a lo largo del lago en forma de balancín durante un período de tiempo del orden de horas a días (31) (Figura 3).

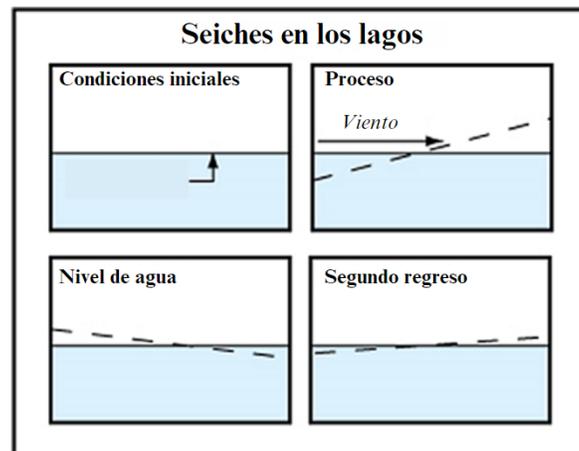


Figura 3: Seiches en los lagos, cortesía de Michigan Sea Grant ("Oleadas y Seiches").

Todos los Grandes Lagos experimentan seiches. Sin embargo, el lago Erie es el menos profundo de todos los lagos y, como resultado, experimenta la mayor y mayor cantidad de seiches dentro del sistema de los Grandes Lagos.

Impactos:

Las personas que viven alrededor de los Grandes Lagos corren el riesgo de verse afectadas por un evento seiche. En particular, Buffalo, Nueva York y Toledo, Ohio, son muy vulnerables a los seiches debido a los patrones de viento predominantes, su ubicación en las orillas oriental y occidental del lago Erie y debido a la poca profundidad del lago (52).

Una noche de 1844, un seiche que medía 6.7 m (22 pies) de alto mató a 78 personas en Buffalo, Nueva York, después de que un malecón de 4.3 m (14 pies) no lograra detener el seiche (62). En 2014, The Buffalo News publicó una reimpresión de un artículo de 1914 que relataba un recuerdo de este evento y sus terribles consecuencias en Buffalo, Nueva York (36).

El 30 de enero de 2008, el lago Erie tuvo olas de 3.7 a 4.9 m (12 a 16 pies) que acompañaron un evento seiche sin precedentes que inundó una zona residencial cerca de Buffalo (35, 62). La altura del lago Erie superó su nivel de inundación en 11 pies (3.4 m) y permaneció así durante más de tres horas. Este seiche provocó una mayor erosión a lo largo de la costa, desplazó muelles, inundó una península, destruyó dunas de hielo junto al lago y trajo entre 5 y 6 pies (1.5 a 1.8 m) de aguas pluviales a la bahía de Presque Isle (35).

Meteotsunamis

Descripción:

Los meteotsunamis son un tipo de peligro en los Grandes Lagos que, hasta hace poco, ha recibido muy poca atención o estudio. Como se puede adivinar por el nombre, los meteotsunamis poseen ciertas características en cuanto a su tamaño y duración de vida que son comparables a las características de los tsunamis, que se inician por eventos sísmicos. Los meteotsunamis pueden ocurrir tanto en océanos como en cuerpos de agua confinados, como los Grandes Lagos. Sus efectos en los Grandes Lagos están lejos de ser insignificantes y, de hecho, tienen un historial de causar grandes daños y pérdidas de vidas (4).

El término "meteotsunami" es la abreviatura de "tsunami meteorológico" (5), lo que significa que son ondas de agua que se crean por cambios en el flujo del viento o la presión del aire. Los frentes, las ondas de gravedad meteorológicas y las tormentas (por ejemplo, un derecho) tienen el potencial de actuar como fuente de un meteotsunami. Los eventos atmosféricos como los que acabamos de enumerar son capaces de transferir una gran cantidad de energía al agua debajo de ellos, que luego se transfiere para formar olas. Una ola de meteotsunami con una altura de aproximadamente 1 pie (0.3 m) o más se considera peligrosa en los Grandes Lagos (4), pero se ha registrado que las olas de meteotsunamis han alcanzado alturas de aproximadamente 20 pies (6 m) en otras áreas alrededor del mundo (5). El tiempo entre las ondas de un meteotsunami puede oscilar entre 2 minutos y 2 horas (4).

Un meteotsunami se puede producir de dos formas. La primera forma implica la formación de una onda larga en el agua debajo de la perturbación atmosférica que no está confinada a ningún límite físico, como una línea costera. En otras palabras, la ola se forma en aguas abiertas. Luego, la ola crece en altura viajando aproximadamente a la misma velocidad que la tormenta, obteniendo más energía de ella (5).

La segunda forma en que crece una ola de meteotsunami es existiendo como una ola de borde, que es una ola que viaja paralela a la costa en un ambiente más confinado. En este caso, la onda puede crecer si su velocidad y su longitud de onda son las mismas que las de la perturbación atmosférica que la produce (5). La altura de una ola de meteotsunami al tocar tierra también está sujeta a la forma, la profundidad y la topografía de la costa (4).

Meteotsunamis históricos de los Grandes Lagos

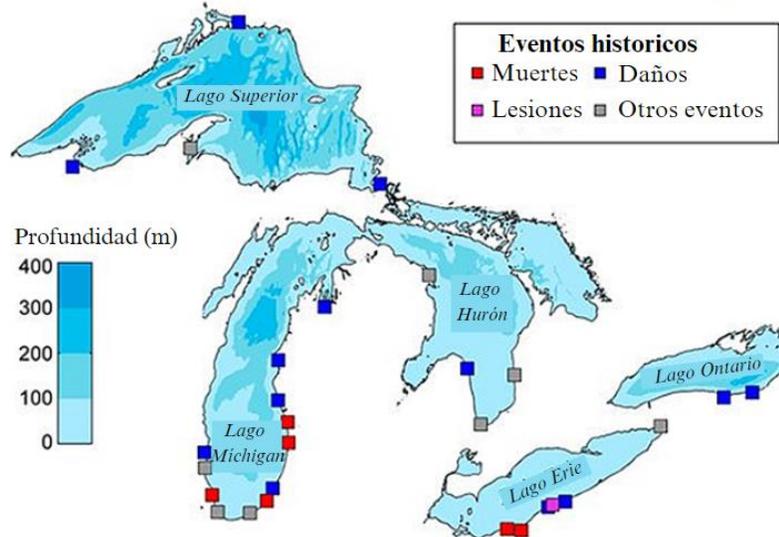


Figura 4: Impactos de los meteotsunamis históricos en los Grandes Lagos. Los eventos mostrados abarcan desde 1882 hasta 2015.

(Fuente de la imagen: GLERL, Fuente de datos: Bechle, A.J. et al. (2016) Meteotsunamis in the Laurentian Great Lakes)

Los meteotsunamis ocurren todos los años en todos los Grandes Lagos; el lago Michigan los experimenta con mayor frecuencia y el lago Ontario el menos frecuente; toda la cuenca de los Grandes Lagos experimenta un promedio anual de alrededor de 106 meteotsunamis (4).

Impactos:

Los meteotsunamis han recibido poca atención hasta hace poco. A medida que se trabaja más para comprenderlos, los investigadores comienzan a darse cuenta de que muchos eventos que en el pasado se atribuyeron a seiches o marejadas ciclónicas en realidad pueden haber sido causados por meteotsunamis (60). La dificultad para distinguir entre estos eventos se debe al hecho de que los meteotsunamis, los seiches y las marejadas ciclónicas son todos productos de perturbaciones atmosféricas que traen fuertes vientos a los Grandes Lagos (60). En el pasado, numerosas lesiones, muertes y otros daños se han atribuido ahora a meteotsunamis (Figura 4).

En 1954, dos grandes meteotsunamis azotaron las costas de Chicago el 26 de junio y el 6 de julio. El meteotsunami del 26 de junio aterrizó en la costa norte de Chicago, donde los pescadores del puerto de Montrose fueron arrastrados desde los muelles. Siete se ahogaron, los socorristas y la policía evacuaron la costa y se produjeron inundaciones en las playas. Parte del agua de la inundación viajó unos 50 m (164 pies) tierra adentro. Las oscilaciones residuales de las olas y las fuertes corrientes seguían impidiendo las actividades de recuperación y rescate 34 horas después de haber transcurrido el evento (3). Inicialmente se pensó que era un seiche en ese momento; sin embargo, ahora se cree que este evento fue un meteotsunami (52, 60). Un segundo meteotsunami llegó a la orilla del lago de Chicago el 6 de julio. Las olas más altas en este evento superaron solo los 4 pies (1.25 m), pero los efectos del evento se sintieron durante más de un día con 1 pie (0.3 m). Las

olas continuaron después de estos máximos de olas. Según se informa, las condiciones en el lago Michigan eran peores que el 26 de junio, pero esta vez la gente no quedó desprevenida. Se pudieron emitir avisos y no se perdieron vidas (3).

El 27 de mayo de 2012 se produjo una serie de meteotsunamis en la costa sur del lago Erie durante el fin de semana del Día de los Caídos. Una ola de 1.8 m (6 pies) llegó a la costa y provocó que un barco volcara cerca de Lakewood, OH. Las tres personas que iban a bordo del barco fueron rescatadas, según la Guardia Costera de Estados Unidos. Aproximadamente dos horas y media después, la costa cerca de Madison, Ohio, experimentó un aumento repentino del agua, seguido de una caída en el nivel del agua que arrastró a tres nadadores al lago, donde fueron rescatados por navegantes (1). El Programa de Gestión Costera (CMP) ha creado una hoja informativa "[¿Qué es un Meteotsunami?](#)" que contiene más información y recursos.

Corrientes

Corrientes de resaca:

Las corrientes de resaca ocurren en los cinco Grandes Lagos y pueden representar grandes peligros para el nadador inexperto. Una corriente de resaca es un chorro angosto de agua que se mueve rápidamente mar adentro, aproximadamente perpendicular a la costa (65) (Figura 5). Cuando las olas rompen en la costa, se crea un excedente de agua que debe devolverse al océano, y una forma de devolver el agua es a través de una corriente de resaca (65). Las costas poco profundas, arenosas y desiguales son más propensas a las corrientes de resaca, que son más frecuentes después de las tormentas. Por lo general, las corrientes de resaca en los Grandes Lagos suelen aparecer en canales que pasan a través de bancos de arena o en puntos donde el agua es más profunda que las áreas circundantes (51).

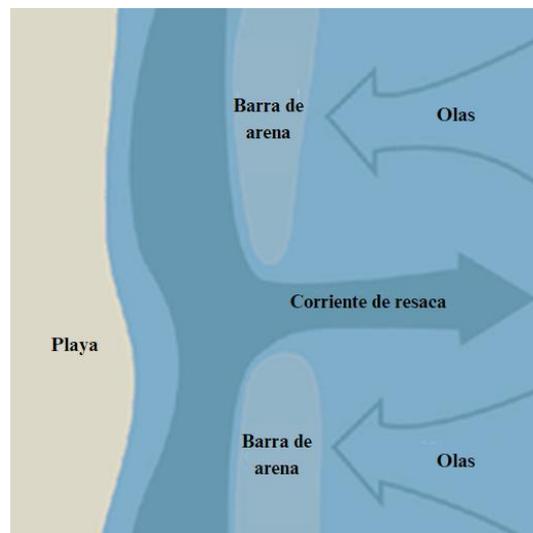


Figura 5: Diagrama de corriente de resaca, cortesía Minnesota Sea Grant ("Corrientes de resaca" 2015).

En promedio, las corrientes de resaca se mueven a una velocidad de aproximadamente 1.4 mph (o alrededor de 0.5 a 1.0 m/s). Sin embargo, los caudales de las corrientes de resaca son variables y se sabe que son capaces de alcanzar velocidades de aproximadamente 5 mph (2.2 m/s), ¡mucho más rápido que los nadadores más rápidos del mundo! Además, las corrientes de resaca pueden tener anchos que oscilan entre 10 y 100 pies (3.0 a 30.5 m) y longitudes de hasta 1000 pies (304.8 m) (51, 65).

Otras corrientes:

Una corriente de resaca no es el único tipo de corriente que ocurre en los Grandes Lagos (11). Las corrientes costeras y estructurales son en realidad tan comunes como las corrientes de resaca. Otras corrientes incluyen corrientes de canal y de salida. Las corrientes costeras fluyen paralelas a la costa y, a menudo, pueden formarse entre múltiples bancos de arena presentes justo frente a la costa (Figura 6). Las corrientes estructurales ocurren junto a estructuras hechas por el hombre, como muros de rotura o muelles (Figura 7). Estas corrientes pueden ser excepcionalmente fuertes, lo que las hace muy peligrosas (57).



Figuras 6 (izquierda) y 7: Diagramas de corriente costera y corriente estructural, cortesía de Michigan Sea Grant ("Tipos de corrientes").

Las corrientes de salida son causadas por aguas más rápidas de lo común que vierten desde las desembocaduras de arroyos o ríos hacia un océano o lagos más lentos (Figura 8). Esta agua puede fluir a cierta distancia hacia el lago antes de disminuir su velocidad, creando una corriente. Por último, las corrientes de canal, al igual que las corrientes costeras, corren paralelas a la costa. Una corriente de canal puede surgir cuando alguna estructura natural, como un afloramiento rocoso o una isla, está presente cerca de la costa (Figura 9). A medida que el agua del lago fluye paralela a la orilla, se comprime entre el afloramiento rocoso/isla y la costa, lo que hace que el agua se acelere. Las condiciones de viento intenso también pueden intensificar la acción de las olas, haciendo que la corriente del canal se vuelva más poderosa (57).



Figuras 8 (izquierda) y 9: Diagramas de corriente de salida y de canal, cortesía de Michigan Sea Grant ("Tipos de corrientes").

Impacto de las corrientes:

Según la base de datos de incidentes actuales de los Grandes Lagos, los Grandes Lagos tuvieron un total estimado de 164 muertes relacionadas con las corrientes entre 2002 y 2016. Se estima que también se rescataron de las corrientes a 350 personas durante este período. El lago Michigan supera con creces a los otros lagos en el número promedio anual de incidentes relacionados con la corriente, con un promedio de 24.4 incidentes de este tipo por año. Según se informa, los otros lagos tuvieron tasas promedio de incidentes mucho más bajas: el lago Erie tuvo un promedio de 4.5 incidentes por año, el lago Superior 2.9 incidentes por año, el lago Hurón 1.3 incidentes por año y el lago Ontario 1.1 incidentes por año (20). Para obtener más información sobre los tipos de corrientes y sus peligros, visite el sitio web de Corrientes peligrosas de Michigan Sea Grant.

Nieve con efecto lago

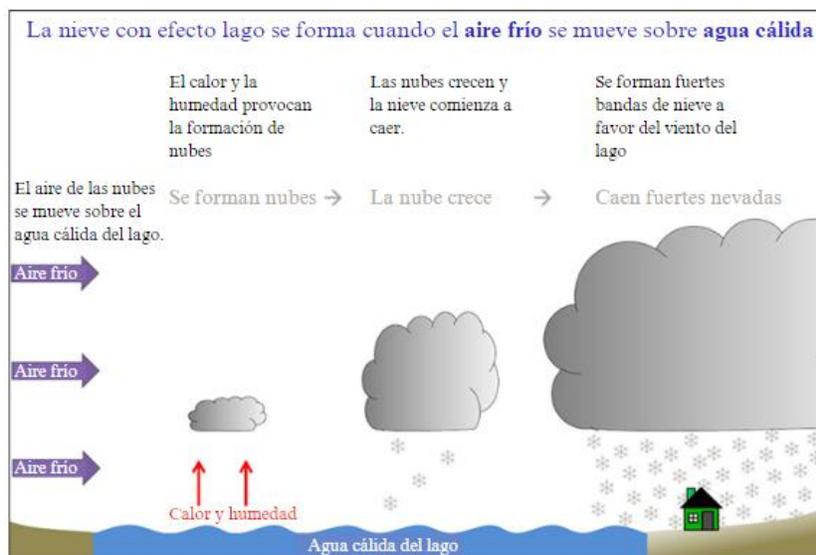


Figura 10: Formación de nieve con efecto de lago, cortesía de la página de seguridad climática invernal del NWS

Descripción:

Uno de los eventos meteorológicos más distintivos presentes en la región de los Grandes Lagos es la nieve con efecto lago, que ocurre durante los meses de otoño e invierno (6). Se forma debido a diferencias en las características de temperatura y humedad del aire sobre la tierra y el agua en la región de los Grandes Lagos (32) (Figura 10).

A medida que se acercan los meses más fríos del año, el aire frío canadiense comienza a viajar hacia el sur, hacia los Grandes Lagos (59). A medida que el aire fluye sobre los lagos, entra en contacto con las aguas más cálidas que se encuentran debajo. Se produce un intercambio de energía entre el aire y el agua en el que el aire frío comienza a calentarse, volviéndose más húmedo, haciendo el aire menos estable y provocando que se eleve y forme nubes que pueden producir precipitaciones (6). Las nubes eventualmente forman una línea o banda que puede permitir una tasa de nevadas superior a 2 a 3 pulgadas/h (5.1-7.6 cm/h) (59) (Figura 9). La nieve con efecto de lago puede variar en intensidad según cómo viaja el aire a través de los lagos (es decir, ¿está tomando el camino largo o corto a través del lago?) (6). El viento también es muy importante para determinar dónde cae la nieve, ya que esencialmente puede dirigir la nieve hacia un lugar. La nieve con efecto lago también se ve afectada por las topografías acuáticas y terrestres (59). ¡Visite la página del [MRCC Viviendo con el Clima: Tormentas de Invierno](#) para aprender más!

Impactos:

Un importante evento de nieve con efecto de lago azotó Búfalo, Nueva York, del 17 al 21 de noviembre de 2014. Algunos lugares recibieron 88 pulgadas (223.5 cm) de nieve, ¡con tasas de nevadas asombrosas de 6 pulgadas (15.2 cm) por hora (Figura 11)! La nieve con efecto de lago también afectó a las regiones al este de la bahía Georgiana y a los lagos Ontario, Huron y Superior. En Búfalo, 14 personas murieron, los techos y las estructuras colapsaron y fallaron, los presupuestos para la remoción de nieve se agotaron, las escuelas estuvieron cerradas durante más de una semana, las carreteras se cerraron y se impusieron restricciones a la circulación, lo que dejó varados a miles de automovilistas (45).

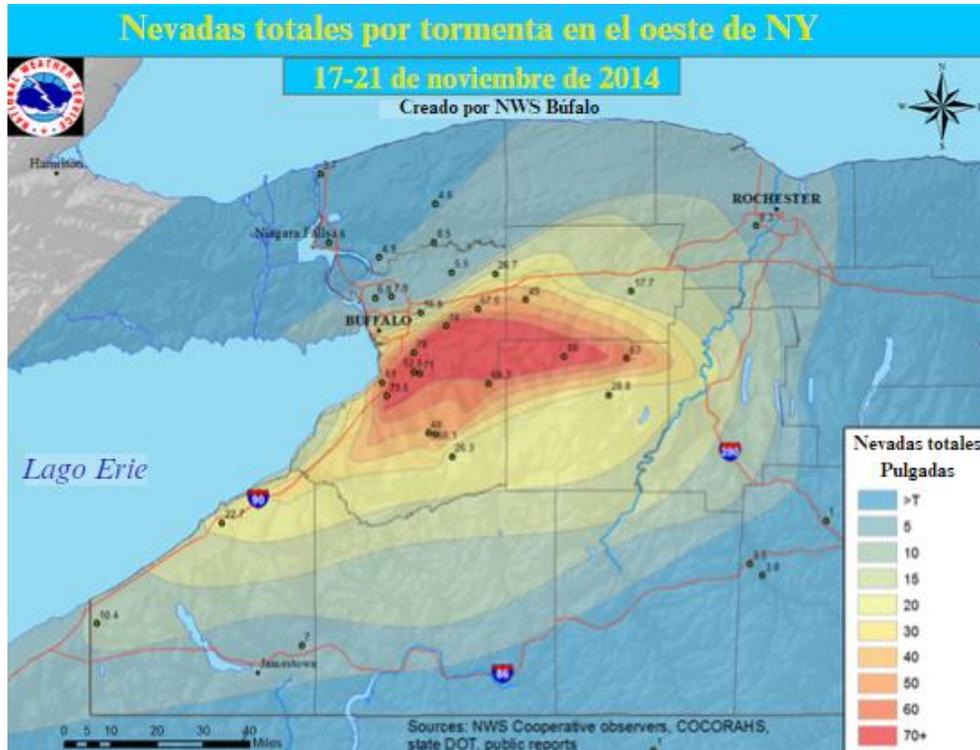


Figura 11: Nevadas totales observadas en el oeste de Nueva York (pulg.) del 17 al 21 de noviembre de 2014 (Gráfico cortesía de Búfalo NWS)

El invierno de 2016-17 trajo varias rondas de nieve con efecto de lago en los Grandes Lagos. El 5 de enero de 2017, Búfalo, Nueva York, recibió 61 cm (2 pies) de nieve durante un período de 6 a 8 horas, lo que provocó que el tráfico se detuviera durante las horas pico de la tarde. Como los autobuses no podían circular, cientos de escolares no regresaron a casa hasta horas más tarde. Además, durante el período del 1 al 4 de febrero, la nieve con efecto lago provocó una situación de estado de emergencia en la orilla oriental del lago Ontario en el condado de Oswego, Nueva York, cuando cayeron 76 pulgadas (193 cm) (48).

Hielo de lago

Descripción:

A partir del otoño y principios del invierno, el agua de los Grandes Lagos comienza a enfriarse y, poco después, comienza a formarse hielo que continúa hasta que se forma la capa máxima de hielo (2). La parte superior de los Grandes Lagos tiende a tener una capa máxima de hielo hacia finales de febrero y principios de marzo, mientras que la parte inferior de los Grandes Lagos tiende a tener una capa máxima de hielo entre mediados y finales de febrero (24). Luego, a medida que se acerca la primavera, el hielo comienza a derretirse (2).

Para todo el sistema de los Grandes Lagos, en 1979 se vio la cubierta de hielo máxima anual más alta jamás registrada, con una extensión máxima del 94.7%, y en 2002 se dio la cubierta de hielo máxima anual más baja registrada, con una extensión máxima de sólo el 11.9% (Figura 12). El lago

Erie, el más pequeño y menos profundo de los Grandes Lagos, se congeló completamente en tres ocasiones distintas: en 1978, 1979 y 1996. Aunque es mucho más profundo y más grande, el lago Superior también se congeló por completo en 1996 (24). El hielo se forma constantemente en regiones más someras de los Grandes Lagos, en lugares como las Islas Apóstol y la Bahía Whitefish en el Lago Superior, los Estrechos de Mackinaw en los Lagos Hurón y Michigan, y entre Long Point y Búfalo, Nueva York, en el Lago Erie (2). Sobre la base de promedios de 20 años, a partir de 1973, parece que la extensión anual de la capa de hielo en los Grandes Lagos está disminuyendo con el tiempo (24).

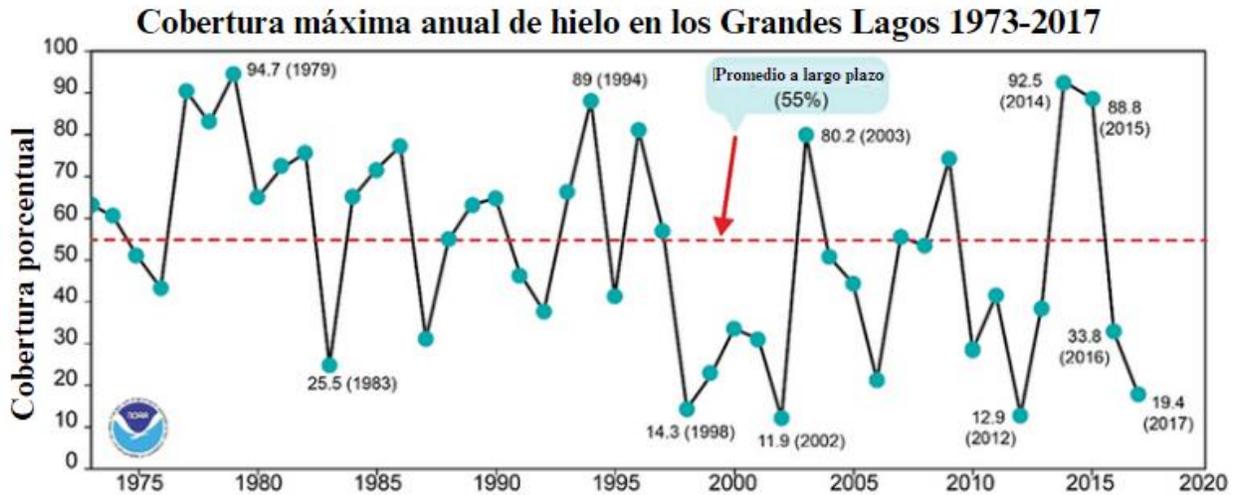


Figura 12: Cubierta de hielo máxima anual histórica en los Grandes Lagos de 1973 a 2017 (Fuente: GLERL)



Figura 13: El rompehielos *Mackinaw* de la Guardia Costera de los EE. UU. (Foto: Flickr de la Guardia Costera de EE. UU.)

Impactos:

El hielo invernal que se forma en los Grandes Lagos tiene efectos de gran alcance en la vida y la industria de esa región. La extensión del hielo varía cada año y esta fluctuación afecta a aspectos

como el transporte marítimo comercial, la energía hidroeléctrica y la industria pesquera. La recopilación de datos sobre el hielo permite a los científicos monitorear y pronosticar la actividad del hielo. Al hacer esto, pueden proporcionar información beneficiosa que ayude a la gestión costera, a los meteorólogos, a los navegantes, a los pescadores y a los trabajadores de seguridad de los lagos (22).

Sin embargo, existen peligros cotidianos asociados con el hielo en sí que pueden causar problemas importantes a los propietarios y navegantes de la costa. Por ejemplo, muchos barcos, a menudo transportistas comerciales, no pueden atravesar el hielo debido a sus proas redondeadas y a su falta de potencia. Estos barcos deben depender de los barcos más potentes de la Guardia Costera de los EE. UU. que abren caminos para los barcos a través del hielo (Figura 13). Sin embargo, los caminos a través del hielo pueden cerrarse rápidamente debido a la actividad del viento, que puede atrapar a los barcos y dañar sus cascos. Los vientos pueden incluso desplazar los campos de hielo, junto con los barcos atrapados, hacia aguas más peligrosas y poco profundas, donde los barcos pueden encallar (2).

Los atascos de hielo son otro peligro que hace que las áreas río arriba del atasco experimenten inundaciones y las áreas río abajo tengan niveles de agua más bajos. Los atascos de hielo son una amenaza que dura todo el invierno, pero son más comunes en la primavera, cuando el hielo comienza a moverse y romperse. El hielo también puede destruir los muelles que quedan congelados en el hielo. Una vez congelados, los muelles quedan a merced de los movimientos del hielo, que se sabe que destroza los muelles. Además, el hielo puede invadir la costa y atravesar cualquier cosa que se interponga en su camino (2). El 5 de abril de 1984, se formó un atasco de hielo récord en el río St. Clair. Duró 24 días y costó a las compañías navieras cuyos barcos quedaron atrapados a ambos lados del atasco alrededor de \$1 millón por día (2).



Figura 14: Erosión de propiedades frente a la playa en Lyndonville, NY. (Foto: Alicia Bonanza)

Erosión

Descripción e Impactos:

La erosión y las inundaciones ocurren periódicamente a lo largo de los perímetros de los Grandes Lagos, generando cientos de millones de dólares en pérdidas de hogares, negocios e instalaciones recreativas (9). La erosión costera tiene muchas causas que tienen su origen en los movimientos de personas, el viento, la lluvia, las heladas, las aguas subterráneas y los niveles del agua (28). La erosión sumada a los altos niveles de agua puede significar tasas de erosión más altas, lo que puede resultar en una pérdida de playas, estructuras y propiedades frente a la playa (9) (Figura 14).

No todas las costas de los Grandes Lagos se están erosionando al mismo ritmo. Algunas áreas están designadas como “áreas de alto riesgo de erosión”. Esto significa que esas áreas están perdiendo terreno a un ritmo promedio de 1 pie (0.3 metros) o más por año durante los últimos 15 años o más. Sin embargo, algunas áreas pueden experimentar una pérdida de 17 pies (5.2 metros) por año (28). [Puede encontrar más información sobre la erosión aquí.](#)

El hielo de los lagos en invierno normalmente ayuda a preservar los hábitats y las playas alrededor de los Grandes Lagos. Sin embargo, el invierno 2016-2017 fue tan suave que la capa de hielo no era extensa y solo estaba presente en la superficie de los lagos cerca de las costas. En lugar de proteger las costas, el hielo las erosionó, lo que provocó que los funcionarios del Parque Estatal Presque Isle en Erie, Pensilvania, tomaran medidas adicionales para garantizar que las playas aún fueran utilizables (48).

Floraciones de algas nocivas



Figura 15: Floración de algas nocivas en el lago Erie durante julio de 2015. (Foto: Ohio Sea Grant)

Descripción:

El crecimiento de floraciones de algas nocivas es un peligro en los Grandes Lagos que no surge directamente de un evento meteorológico. En cambio, la proliferación de algas nocivas es el resultado del crecimiento de bacterias de color azul verdoso llamadas "cianobacterias". A medida que estos pequeños organismos crecen en el agua, pueden dispersarse por toda la columna de agua o agruparse para flotar cerca o en la superficie del agua, formando esencialmente una capa de algas verdiazules (Figura 15). Los eventos de floración de algas nocivas también pueden presentarse en muchos colores, incluyendo café, blanco, azul verdoso, rojo, morado, negro o verde (39).

La proliferación de algas nocivas puede ocurrir por varias razones, una de las cuales es una entrada repentina de nutrientes como nitrógeno o fósforo en su entorno. Estos nutrientes pueden provenir de muchas fuentes, incluyendo campos agrícolas, césped, precipitaciones, alcantarillas, sistemas sépticos y plantas de tratamiento de aguas residuales (39, 58). En última instancia, estos nutrientes llegan a cuerpos de agua como ríos, lagos, bahías y océanos, donde luego proceden a proporcionar un exceso de nutrientes para las algas que viven allí. Además, se puede iniciar un evento si la temperatura del agua es anormalmente alta, si la circulación del agua es muy lenta o si ocurre una inundación, huracán, sequía u otro evento climático intenso (58).

Los fenómenos de proliferación de algas nocivas se han vuelto más frecuentes en los últimos años, en gran parte debido a la pérdida de zonas naturales de amortiguamiento y filtrado que proporcionan los humedales y los bosques. La pérdida de estos ambientes ha dado a los nutrientes un acceso más fácil a las vías fluviales donde pueden causar estos eventos de algas. El lago Erie ha experimentado algunos eventos significativos de proliferación de algas nocivas, incluido uno en 2011 que fue causado por un exceso de fósforo transportado al lago como escorrentía de fertilizante de un campo agrícola (39, 58).

Impactos:

La proliferación de algas nocivas puede afectar a muchas áreas diferentes de la sociedad y la industria en los Grandes Lagos, incluyendo el turismo, la agricultura y la pesca. Sin embargo, uno de los efectos más importantes se produce en la calidad del agua (7). Los suministros de agua potable pueden verse contaminados por su presencia, ya que le dan mal sabor al agua y provocan acumulación de espuma y malos olores. En 2014, una proliferación de algas nocivas en el lago Erie contaminó el suministro de agua potable en Toledo, Ohio, y el alcalde anunció una prohibición del agua potable del 2 al 4 de agosto (44). Las áreas públicas utilizadas para recreación pueden estropearse si hay floraciones de algas dañinas, y pueden ocurrir muertes de peces si los peces compiten con las floraciones de algas por el oxígeno.

Desafortunadamente, la proliferación de algas también puede resultar dañina o incluso fatal para algunos habitantes de la tierra. Algunas cianobacterias, pero no todas, pueden ser tóxicas y producir venenos que se encuentran entre los más potentes que existen. La toxicidad puede matar a las mascotas y al ganado, y puede envenenar a los humanos y provocar enfermedades. Los niños son especialmente susceptibles a las floraciones de cianobacterias tóxicas porque son más pequeños que los adultos y, por lo tanto, las toxinas pueden producir un mayor efecto en ellos. Ser capaz de reconocer los eventos de proliferación de algas dañinas es crucial, ya que no existen antídotos para

los venenos de cianobacterias. Sin embargo, no todas las floraciones de algas dañinas son tóxicas. Las algas verdiazules se producen de forma natural y dependen del tipo de especie, la ubicación, el momento y las condiciones del sitio para determinar si una floración es tóxica o no (17) (Figura 16). Para obtener más información sobre la proliferación de algas nocivas, visite el sitio web del [Laboratorio de Investigación Ambiental de los Grandes Lagos \(GLERL\)](#).



Figura 16: Floración de algas el 16 de agosto de 2013. (Foto: Ohio Sea Grant y Jeff Reutter)

Seguridad contra peligros en los Grandes Lagos

Los ahogamientos son muy comunes en los Grandes Lagos. Aunque nadadores y bañistas sepan nadar, nada los puede preparar contra olas o corrientes inesperadas que podrían arrastrarlos fuera de la playa. [El Consorcio de Seguridad del Agua de los Grandes Lagos](#) se dedica a promover el conocimiento sobre prácticas de agua segura con el objetivo de eliminar la amenaza de ahogamiento en los Grandes Lagos. En su sitio web, dice que ha habido más de 530 ahogamientos en los Grandes Lagos entre 2010 y 2016 (Figura 17).

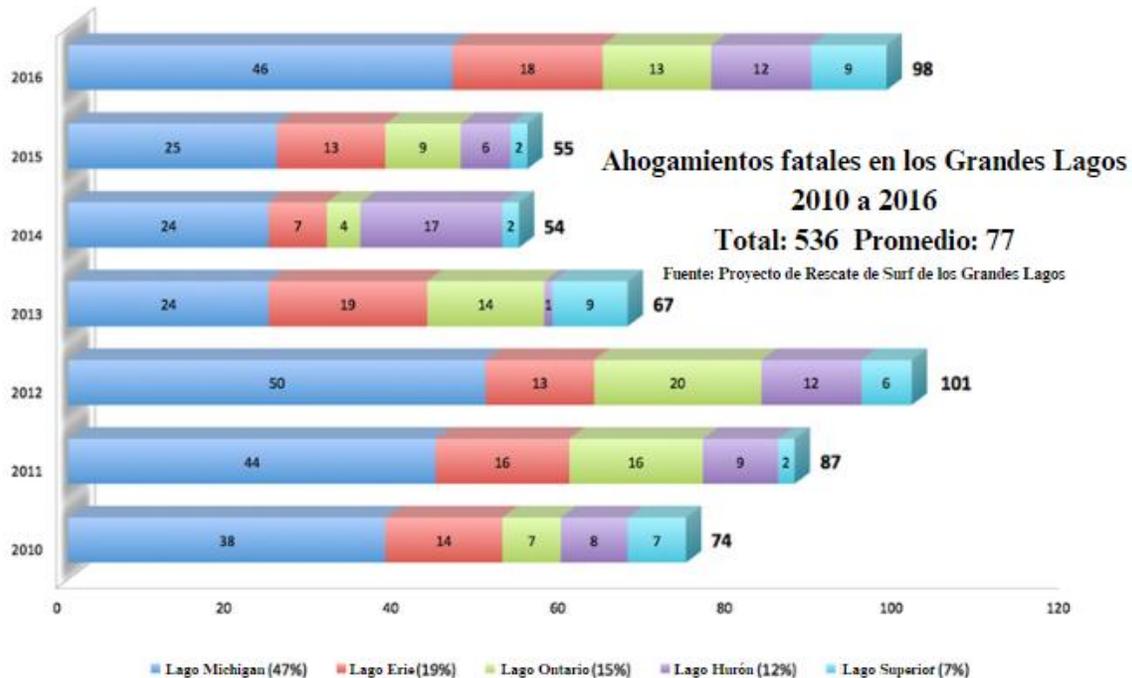


Figura 17: Ahogamientos mortales en los Grandes Lagos entre 2010 y 2016. (Fuente: Consorcio de Seguridad del Agua de los Grandes Lagos)

El Servicio Meteorológico Nacional (NWS) de EE. UU. es una excelente fuente de información de seguridad para la región de los Grandes Lagos. De hecho, el NWS alberga el Portal de los Grandes Lagos. Este servicio permite a los usuarios acceder muy fácilmente a información y herramientas visuales para temas como las últimas advertencias de inundaciones, alertas de tormentas severas, avisos de inundaciones regionales y avisos de embarcaciones pequeñas para los cinco lagos. Los usuarios también pueden ver pronósticos de altura de ola, período de ola, velocidad del viento, ráfagas de viento, clima predominante y temperatura del agua del lago.

Seguridad en la playa

La página Peligros de Playas de los Grandes Lagos del NWS proporciona el estado actual de las condiciones de riesgo de nado (bajo, moderado o alto) en la pestaña Pronósticos de playas para la costa de EE. UU. en la región de los Grandes Lagos (Figura 18). Esta página también informa al usuario sobre cualquier declaración de peligros en la playa que esté actualmente vigente. Además, los usuarios tienen acceso a información sobre incidentes relacionados con la actualidad, seguridad en las playas, calidad del agua de los Grandes Lagos y recursos adicionales. Puede encontrar una guía de usuario para la página Peligros de Playas aquí.

Peligros en las playas de los Grandes Lagos



Figura 18: Un ejemplo de la página de cada peligro de los Grandes Lagos del Servicio Meteorológico Nacional.

Para obtener una guía general sobre la seguridad en la playa y aprender a manejar una corriente de resaca, visite la página NWS Nación preparada para el clima [WRN Corrientes de resaca](#) sobre seguridad en la playa, el surf y las corrientes de resaca. Esta página proporciona consejos y videos útiles para sobrevivir a las corrientes de resaca y a las condiciones peligrosas de la playa (63). También hay [historias personales](#) de personas que han quedado atrapadas en corrientes de resaca.

Las siguientes pautas están tomadas de la página de Minnesota Sea Grant sobre corrientes de resaca (51):

Para evitar quedar atrapado en una corriente de resaca, conozca las señales para detectar los canales peligrosos. Algunas señales básicas son:

- Un canal de agua agitada
- Agua de diferentes colores proveniente de sedimentos agitados.
- Una ruptura en el patrón de onda entrante.
- Espuma, plantas u otros objetos que se alejan de la orilla.

Además de los signos naturales, otras personas han tomado precauciones para asegurarse de que el público conozca las corrientes de resaca. Aquí hay algunas maneras en que puede utilizar estos esfuerzos:

- Busque banderas de advertencia de corrientes de resaca en su playa. Estos son visibles en algunas playas de la región de los Grandes Lagos. Una bandera verde significa riesgo bajo, una bandera amarilla significa riesgo moderado y una bandera roja significa riesgo alto.

- Utilice dispositivos de flotación, como tablas de surf, al nadar.
- Tenga en cuenta la ubicación del salvavidas más cercano en caso de una emergencia.



Figura 19: Diagrama de ruta de escape de corrientes de resaca, cortesía Michigan Sea Grant ("Tipos de corrientes").

Si queda atrapado en una corriente de resaca, no intente nadar contra la corriente. En su lugar, haga lo siguiente (Figura 19):

- Mantenga la calma. Intentar nadar contra la corriente gastará energía y provocará ahogamiento.
- Si conoce la dirección del flujo, nade perpendicular a la corriente hasta que esté libre y luego nade hacia la orilla en un ángulo alejado de la corriente.
- Si no conoce la dirección del flujo, flote boca arriba hasta que la corriente de resaca se disipe y luego nade de regreso a la orilla en un ángulo alejado de la corriente.
- Recuerde estas tres palabras de seguridad contra las corrientes de resaca: Voltear, Flotar y Seguir. Voltease sobre su espalda. Flote para conservar energía y mantenga la cabeza fuera del agua. Siga la corriente hasta que se disipe. Luego nade hasta la orilla en ángulo.
- Si siente que no podrá llegar a la orilla si mismo, mire hacia la orilla y llame la atención, si es posible (51).

Aguas peligrosas y seguridad marina

Como se analizó anteriormente, los peligros de marejadas ciclónicas, seiches y meteotsunamis son peligros particulares en los Grandes Lagos. Las personas pueden protegerse contra los impactos de estos peligros manteniéndose informadas. El NWS proporciona pronósticos para las costas de los Grandes Lagos y las aguas costeras, y los pronósticos marinos del NWS se pueden encontrar aquí. Este portal permite a los usuarios seleccionar cualquier área de los Grandes Lagos y ver pronósticos de texto marinos cercanos a la costa, avisos, declaraciones y mensajes especiales de meteorología marina, pronósticos puntuales, así como pronósticos de lagos abiertos y otros recursos (Figura 20).



Figura 20: Un ejemplo de pronóstico de zona marina de la página de pronóstico marino del MWS.

El Portal de los Grandes Lagos, mencionado anteriormente, también es un excelente recurso para obtener información rápida sobre la actividad de las olas y las condiciones del agua (Figura 23). Este portal proporciona un punto de partida para acceder a gráficos de pronósticos costeros y marinos para ubicaciones en la región de los Grandes Lagos. Desde este sitio, los usuarios también pueden acceder a los sitios web de las oficinas del NWS que brindan pronósticos para la región de los Grandes Lagos y se mantienen actualizados sobre condiciones potencialmente peligrosas. Estos y otros recursos, como NOAA Weather Radio, se pueden encontrar en la sección Recursos Adicionales para Pronósticos Gráficos de los Grandes Lagos.

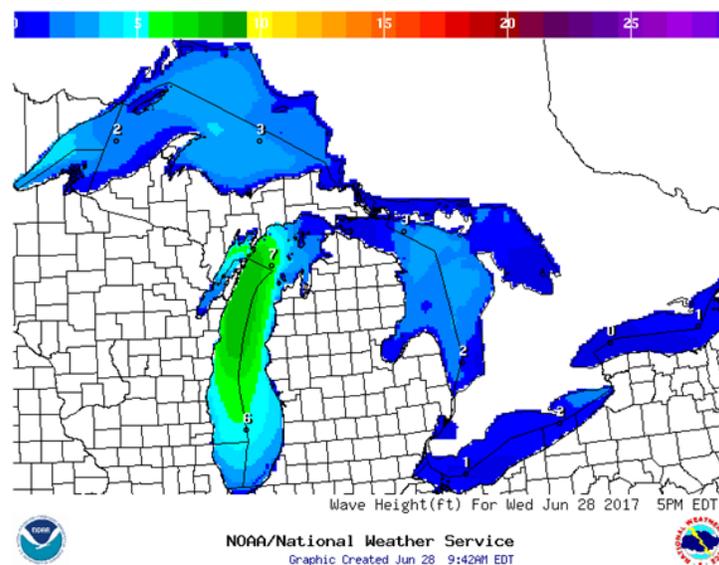


Figura 21: Un ejemplo de pronóstico de altura de ola (pies) disponible en el Portal de los Grandes Lagos del NWS.

Un gran recurso para acceder a las condiciones climáticas actuales y pronosticadas en los Grandes Lagos se puede encontrar en la página de [Datos y Productos](#) de la Oficina de Extensión de GLERL Great Lakes Sea Grant. Esta útil página contiene enlaces a una gran variedad de fuentes de monitoreo de los Grandes Lagos, incluidas aquellas que ofrecen observaciones marinas, datos de boyas, datos del nivel del agua y pronósticos.

En realidad, actualmente no existe ningún sistema de pronóstico para predecir meteotsunamis. Sin embargo, actualmente se está desarrollando un sistema gracias a los esfuerzos de investigadores científicos, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) y el Programa Nacional de Mitigación de Peligros de Tsunamis (NTHMP) que permitiría a los científicos pronosticar y emitir advertencias de meteotsunamis. Sin embargo, la NOAA y el NTHMP sugieren que “mientras tanto, el público debe prestar atención a las advertencias emitidas por las oficinas locales de pronóstico del tiempo del Servicio Meteorológico Nacional, que pueden identificar una posible amenaza costera en función de las condiciones climáticas” (61). [Más sobre meteotsunamis.](#)

Para obtener información sobre las normas de navegación y la seguridad, visite el [sitio web oficial de la División de Seguridad de Navegación de la Guardia Costera de EE. UU.](#) Para obtener más información sobre el papel de la Guardia Costera en los Grandes Lagos, visite [Coast Guard Great Lakes](#), el blog oficial del noveno distrito de la Guardia Costera. Este sitio permite al público interactuar con la Guardia Costera y aprender más sobre cómo se coordina la seguridad en la región de los Grandes Lagos.

Seguridad en el clima invernal

Para mantenerse informado sobre la nieve con efecto de lago y otras condiciones climáticas invernales peligrosas, visite la [página de invierno WRN](#) de NWS Weather Ready Nation. Este portal proporciona explicaciones sobre muchos eventos invernales, como tormentas de hielo y nieve con efecto de lago. La opción de menú "pronósticos y observaciones" brinda a los usuarios una vista panorámica de las condiciones climáticas actuales y los peligros para todo Estados Unidos y acceso a los pronósticos locales del NWS ("WRN Winter"). Los pronósticos meteorológicos locales siempre están disponibles a través del [Servicio Meteorológico Nacional](#).

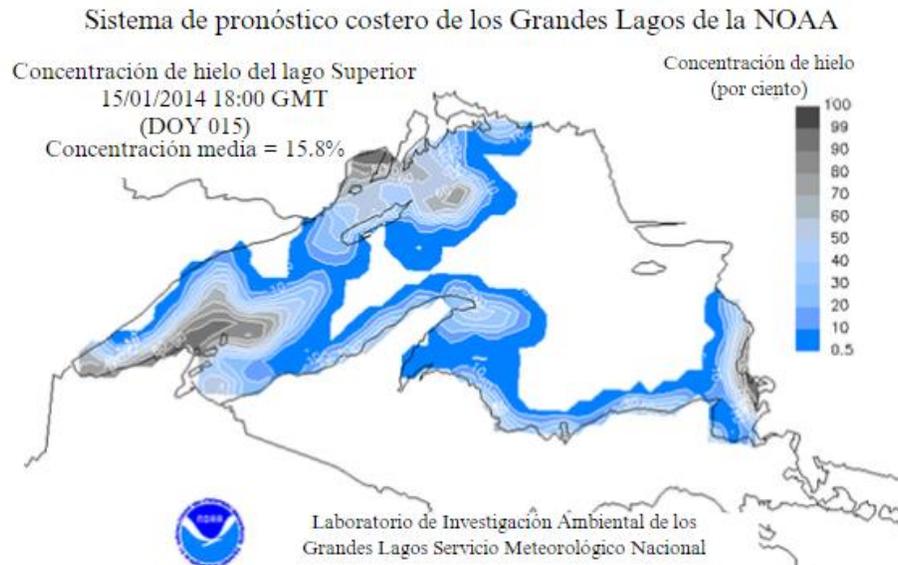


Figura 22: Un ejemplo de pronósticos de concentración de hielo de GLERL.

Condiciones de hielo y seguridad

Para mantenerse actualizado sobre los análisis y pronósticos de hielo actuales, visite la [página de la cubierta de hielo](#) de los Grandes Lagos del Laboratorio de Investigación Ambiental de los Grandes Lagos de la NOAA (GLERL) (Figura 22). Esta fuente es una excelente herramienta para aprender más sobre la capa de hielo de los Grandes Lagos tanto en el pasado como en el presente y para mantenerse actualizado con los pronósticos y pronósticos actuales de la capa de hielo.

Seguridad contra la proliferación de algas nocivas

El [Laboratorio de Investigación Ambiental de los Grandes Lagos de la NOAA \(GLERL\)](#) alberga la página sobre [HAB e hipoxia de los Grandes Lagos](#). Allí, los visitantes del sitio web pueden ver las últimas investigaciones y seguimiento de la proliferación de algas nocivas que se realizan en los Grandes Lagos y suscribirse al [Boletín HAB del lago Erie](#).

La página de [enfermedades asociadas a la proliferación de algas nocivas \(HAB\) de la CDC](#) proporciona un buen resumen de los peligros, impactos y riesgos para la salud de la proliferación de algas nocivas. También proporciona información sobre los pasos básicos que se pueden tomar para evitar la exposición dañina a la proliferación de algas nocivas. Además, las comunidades locales prohibirán el acceso al agua potable y cerrarán las playas según sea necesario debido a la proliferación de algas nocivas. Por lo tanto, preste atención a los medios de comunicación locales para obtener esta información.

Una breve historia de la navegación y seguridad del transporte marítimo en los Grandes Lagos

Historia

Servicios de seguridad de EE. UU. en los Grandes Lagos

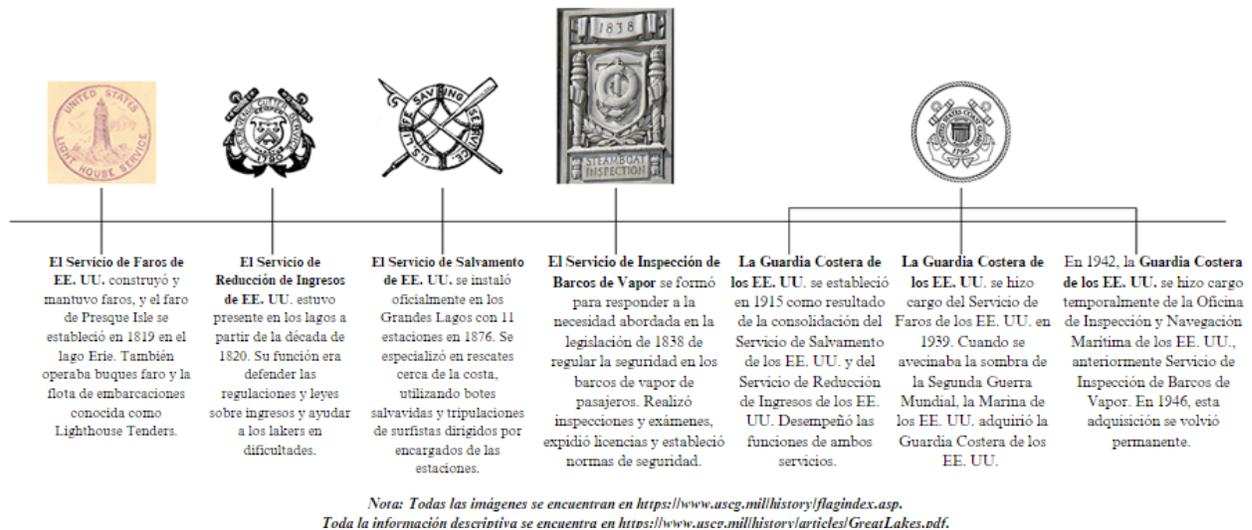


Figura 23: Cronología de las agencias marinas federales en la historia de EE. UU. que han mantenido seguros a los Grandes Lagos (MRCC).

Dennis L. Noble escribió sobre los Grandes Lagos: "La cadena de lagos que componen la región abarca 94,510 millas. De hecho, parece que los lagos son, en palabras de un escritor, el 'Octavo Mar'". Proteger a las personas y a las embarcaciones de los peligros de estos vastos lagos ha sido una prioridad de la Guardia Costera de los EE. UU., o mejor dicho de sus predecesores desde principios del siglo XIX (Figura 23).

Uno de los primeros servicios de seguridad en los lagos fue el Servicio de Faros de EE. UU. El Servicio de Reducción de Ingresos de EE. UU. comenzó a patrullar los lagos en la década de 1820 para brindar ayuda a quienes se encontraban en dificultades. En 1854, el gobierno había establecido el Servicio de Salvamento de Estados Unidos, cuyos equipos de rescate, en honor a la percepción que tenía el público de su valiente deber, llegaron a ser conocidos como "surfmén", "guerreros de la tormenta" y "soldados de las olas". El Servicio de Inspección de Barcos de Vapor también nació y se convirtió en una organización que hacía cumplir las reglas y regulaciones en todos los Grandes Lagos. La Guardia Costera de EE. UU. se estableció en 1915 como una forma fusionada del Servicio de Salvamento de EE. UU. y el Servicio de Reducción de Ingresos de EE. UU. Sin embargo, poco antes de la Segunda Guerra Mundial, la Guardia Costera de los EE. UU. se hizo cargo de las operaciones del Servicio de Faros de los EE. UU. y luego, durante la Segunda Guerra Mundial, la Oficina de Inspección de Barcos de Vapor también pasó a formar parte de la Guardia Costera de los EE. UU. (38).

A mediados del siglo XIX se construyó el canal Soo y aumentó la actividad naviera en los lagos, a medida que el mineral de hierro, procedente del puerto de Marquette, se convirtió en un importante motor económico (26). La minería del cobre, la tala de árboles y la pesca también

contribuyeron a una mayor prosperidad económica (18). A medida que aumentó el tráfico marítimo en los lagos, también aumentó la necesidad de faros y ayudas a la navegación. Se cree que el faro de Presque Isle del lago Erie fue uno de los primeros en los Grandes Lagos (Figura 24). En 1866 existían 72 faros y a principios del siglo XX más de 100 (38). También había embarcaciones llamadas farolas que funcionaban con motor de vapor (Figura 25). Estos barcos hacían guardia en zonas peligrosas y en todas las condiciones climáticas, en lugares donde no era posible colocar una luz de señalización. Con el establecimiento de la Guardia Costera de los EE. UU., los equipos y técnicas de salvamento y navegación se volvieron más sofisticados a medida que llegaron a los Grandes Lagos helicópteros, nuevas embarcaciones y sistemas automatizados (38). Aquí se puede encontrar una historia temprana de la seguridad en los lagos.



Figura 24 (izquierda): Edificio del faro de Presque Isle en 1872-1873 (Fuente: PresqueIsleLighthouse.org). Figura 25 (derecha): El buque faro Huron fue el último de su tipo en los Grandes Lagos. Dejó su estación el 21 de agosto de 1970, reemplazada por una boya de bocina (adaptada de Nobel 1989).



Figura 26: Vista aérea del infame Pasaje de la Puerta de la Muerte, mirando desde el noreste. El lago Michigan se encuentra a la izquierda y Green Bay a la derecha. (Foto: Matthew Thibault, 20 de marzo de 2016)

Rescates y tragedias destacadas

Un pasaje utilizado por barcos y embarcaciones para navegar entre el lago Michigan y la bahía de Green Bay se conoce como "Puerta de la Muerte" (Figura 26). Se cree que las leyendas sobre el traicionero pasaje existieron incluso antes de 1728. Una historia sugiere que el nombre surgió porque un gran grupo de nativos americanos encontró la muerte en las rocas. Otra historia sugiere que los franceses inventaron el nombre para disuadir a los ingleses de aventurarse en la región. Entre 1837 y 1914, 24 bergantines, barcas y goletas naufragaron allí, y 40 embarcaciones más se perdieron en zonas peligrosas cercanas. Otros barcos, en los centenares, también han sido rescatados de las garras de la Puerta de la Muerte. Afortunadamente, gracias a los Servicios de Faro y Salvamento de EE. UU., a otras embarcaciones y a los residentes cercanos, no se perdieron vidas debido a las fuertes corrientes y rocas de la Puerta de la Muerte durante el siglo XIX (12).

Sólo durante el invierno de 1870-1871, 214 personas perdieron la vida debido a accidentes en los lagos (38).

El 11 de mayo de 1890, Maebelle L. Mason, la hija de 14 años del farero de Mamajuda Light, remó hasta un lugar a una milla de distancia del faro para salvar a un hombre cuyo bote de remos se había volcado. Después de alcanzarlo con éxito, Maebelle llevó al hombre cansado de regreso a la orilla. Posteriormente recibió la Medalla de Plata por Salvamento (38).



Figura 27: Tripulación de la estación de salvamento de EE. UU. de Evanston, Illinois. Portero Lawrence O. Lawson (fila central, mirando a la izquierda) estuvo a cargo de la estación desde 1880 hasta 1903. Bajo la dirección del liderazgo de Lawson, a la estación se le atribuye el rescate de 447 personas de más de 35 naufragios (adaptado de Noble 1989).

El 8 de noviembre de 1889, Lawrence O. Lawson, un encargado de los Servicios de Salvamento de EE. UU. de la estación Evanston, dirigió su equipo de surfistas, todos estudiantes de la Universidad Northwestern, para salvar a los 18 miembros de la tripulación del Calumet, que había naufragado

cerca de Fort Sheridan (Figura 27). Después de transportar a la tripulación de la estación Evanston y su barco por ferrocarril hasta el lugar, Lawson condujo a su equipo hasta la playa después de maniobrar su barco sobre un acantilado. El rescate tuvo éxito después de que la tripulación de Lawson luchara contra una tormenta furiosa, aguanieve y olas altas para llegar a los hombres varados. La Medalla de Oro por Salvamento fue entregada a todo el equipo de la Estación Evanston por sus heroicos esfuerzos (38).

Durante una tormenta en noviembre de 1913, murieron 250 personas y se perdieron 19 barcos (30). La tormenta del Día del Armisticio del 11 de noviembre de 1940 mató a 65 personas y se cobró cinco embarcaciones en los Grandes Lagos (30).

El 10 de noviembre de 1975, el barco más grande jamás reclamado por los Grandes Lagos, el *Edmund Fitzgerald*, se hundió con toda su tripulación de 29 hombres en el Lago Superior, cerca de Whitefish Point. El *Edmund Fitzgerald*, un buque de transporte que fue una leyenda en su época, operaba en los Grandes Lagos desde 1958 (56). Mientras transportaba más de 26,000 toneladas de carga compuesta de bolitas de mineral de hierro, llamadas taconita, el *Edmund Fitzgerald* fue víctima de un vendaval de noviembre, un tipo de tormenta extrema asociada con los meses de otoño en los Grandes Lagos. Olas increíblemente altas, que se cree que superaron los siete metros, ayudaron al lago Superior a hundir el *Edmund Fitzgerald* (30). Puede encontrar más información sobre los [avances en la previsión marina aquí](#).

REFERENCIAS

1. Anderson, Eric J., Adam J. Bechle, Chin H. Wu, David J. Schwab, Greg E. Mann y Kirk A. Lombardy. 2015. Journal of Geophysical Research: Oceans [*Revista de Investigación Geofísica: Océanos*] 120: 8020-8038. doi:10.1002/2015JC010883.
2. Assel, Raymond A. 1999. "Chapter 6 Great Lakes Ice Cover." [*Capítulo 6 Cubierta de hielo de los Grandes Lagos*]. De Potential Climate Change Effects on Great Lakes Hydrodynamics and Water Quality. [*Los posibles efectos del cambio climático en la hidrodinámica y la calidad del agua de los Grandes Lagos*]. Editado por David C.L. Lam y William M. Schertzer. American Society of Civil Engineers. Reston, VA.
<https://www.glerl.noaa.gov/pubs/fulltext/1999/19990016.pdf>
3. Bechle, Adam J. y Chin H. Wu. 2014. "The Lake Michigan Meteotsunamis of 1954 Revisited." [*Los meteotsunamis del lago Michigan de 1954 revisitados*] Nat Hazards 74: 155-177. doi: 10.1007/s11069-014-1193-5.
4. Bechle, Adam J., Chin H. Wu, David A. R. Kristovich, Eric J. Anderson, David J. Schwab y Alexander B. Rabinovich. 2016. "Meteotsunamis en los Grandes Lagos Laurentianos". Scientific Reports 6:37832. doi:10.1038/srep37832.
5. Bechle, Adam J., David A. R. Kistovich y Chin H. Wu. 2015. "Ocurrencias y causas de meteotsunami en el lago Michigan". Journal of Geophysical Research: Oceans 120: 8422-8438. doi:10.1002/2015JC011317.
6. Bergmaier, Philip T. y Bart Geerts. 2016. "Observaciones de radar aéreo de bandas de nieve con efecto lago sobre los Finger Lakes de Nueva York". Revisión meteorológica mensual 144, no. 10: 3895-3914. Academic Search Complete EBSCOhost (consultado el 18 de mayo de 2017).
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=122677905&site=ehost-live>
7. Carmichael, Wayne W. y Gregory L. Boyer. 2016. "Impactos en la salud causados por la proliferación de algas nocivas de cianobacterias: implicaciones para los Grandes Lagos de América del Norte". Harmful Algae 54: 194-212. doi: 10.1016/j.hal.2016.02.002.
8. "Guardia Costera de los Grandes Lagos: Blog oficial del noveno distrito de la Guardia Costera". U.S. Coast Guard. 2017. Fecha de acceso: 2 de junio de 2017.
<http://greatlakes.coastguard.dodlive.mil/>
9. "Erosión costera del sur del lago Michigan". USGS. 5 de diciembre de 2016. Fecha de acceso: 30 de mayo de 2017. <https://pubs.usgs.gov/fs/lake-michigan/>
10. "Datos y productos: tiempo real". Great Lakes Sea Grant Extension Office @ Great Lakes Research Laboratory. 14 de noviembre de 2007. Fecha de acceso: 2 de junio de 2017.
<https://www.glerl.noaa.gov/data/>
11. "Página de inicio de corrientes peligrosas". Michigan Sea Grant. Fecha de acceso: 22 de mayo de 2017. <http://www.miseagrant.umich.edu/dc/>
12. "Puerta de la muerte." Wisconsin Shipwrecks. 2017. Fecha de acceso: 1 de junio de 2017.
<http://www.wisconsinshipwrecks.org/learn/DeathsDoor>
13. Dolan, Michael y Paul Kimberly. "Volcanes de hielo de la costa sur del lago Superior". Michigan Tech Geological and Mining Engineering and Sciences. 7 de febrero de 2011. Fecha de acceso: 5 de junio de 2017. <http://www.geo.mtu.edu/volcanoes/ice/index.html>

14. *"¿Tienen mareas los Grandes Lagos?"* NOAA National Ocean Service. 25 de julio de 2014. Fecha de acceso: 23 de mayo de 2017. <http://oceanservice.noaa.gov/facts/gltides.html>
15. Farhadzadeh, Ali. 2017. *Un estudio del lago Erie seiche y las fluctuaciones de baja frecuencia del nivel del agua en presencia de hielo superficial*. Ocean Engineering 135: 117-136. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.02.027>
16. *"Banderas, Logotipos, Banderines, Sellos y Serpentinias"*. United States Coast Guard. 21 de diciembre de 2016. Fecha de acceso: 21 de julio de 2017.
17. *"Preguntas frecuentes: floraciones de algas nocivas"*. NOAA-Great Lakes Environmental Research Lab (GLERL). 24 de mayo de 2017. Fecha de acceso: 26 de mayo de 2017. https://www.glerl.noaa.gov/res/HABs_and_Hypoxia/faq.html
18. *"Historia general"*. Northern Michigan University. 2017. Fecha de acceso: 31 de mayo de 2017. <https://www.nmu.edu/upperpeninsulastudies/general-history>
19. *"Peligros en la playa de los Grandes Lagos"*. National Weather Service. N.p. Fecha de acceso: 30 de mayo de 2017. <https://www.weather.gov/greatlakes/beachhazards>
20. *Base de datos de incidentes actuales de los Grandes Lagos*. National Weather Service and Michigan Sea Grant. Fecha de acceso: 22 de mayo de 2017. <http://www.miseagrant.umich.edu/dcd/dcdsearch.php>
21. *"HAB de los Grandes Lagos e hipoxia"*. Great Lakes Environmental Research Laboratory (GLERL). 2017. Fecha de acceso: 2 de junio de 2017. https://www.glerl.noaa.gov/res/HABs_and_Hypoxia/
22. *"Folleto sobre el hielo de los Grandes Lagos"*. Great Lakes Environmental Research Laboratory (GLERL). 2017. Fecha de acceso: 5 de junio de 2017. <https://www.glerl.noaa.gov//pubs/brochures/ice/ice.pdf>
23. *"Cubierta de hielo de los Grandes Lagos"*. Great Lakes Environmental Research Laboratory (GLERL). 26 de mayo de 2017. Fecha de acceso: 5 de junio de 2017. <https://www.glerl.noaa.gov/data/ice/>
24. *"Preguntas frecuentes sobre la cubierta de hielo de los Grandes Lagos"*. Great Lakes Environmental Research Laboratory (GLERL). 26 de mayo de 2017. Fecha de acceso: 5 de junio de 2017. <https://www.glerl.noaa.gov//data/ice/#FAQs>
25. *"Productos de hielo de los Grandes Lagos"*. National Weather Service(NWS). N.p. Fecha de acceso: 5 de junio de 2017. <https://www.weather.gov/cle/greatlakesice>
26. *"Faros de los Grandes Lagos"*. Northern Lake Lighthouses. 2017. Fecha de acceso: 31 de mayo de 2017. <https://www.nmu.edu/upperpeninsulastudies/great-lakes-lighthouses>
27. *"Portal de los Grandes Lagos"*. National Weather Service. N.p. Fecha de acceso: 30 de mayo de 2017. <https://www.weather.gov/greatlakes/>
28. *"Erosión de la costa de los Grandes Lagos"*. Michigan Department of Environmental Quality: Shorelands Protection and Management, Water Resources Division. Junio de 2016. Fecha de acceso: 30 de mayo de 2017. https://www.michigan.gov/documents/deq/deq-wrd-greatlakes-shorelands-highriskerosion-brochure_512877_7.pdf
29. *"Enfermedades asociadas a la floración de algas nocivas (HAB)"*. Centers for Disease Control and Prevention. 27 de mayo de 2016. Fecha de acceso: 2 de junio de 2017. <https://www.cdc.gov/habs/prevention-control.html>

30. Hultquist, Thomas R., Michael R. Dutter y David J. Schwab. 2006. *Reexamen de la tormenta "Edmund Fitzgerald" del 9 al 10 de noviembre de 1975 utilizando la tecnología actual*. Bulletin of the American Meteorological Society 87: 607-622. doi: 10.1175/BAMS-87-5-607.
31. Personal del IJC. *"Vienen en oleadas: Seiches y un tipo de tsunami afectan los Grandes Lagos"*. International Joint Commission (IJC). 23 de octubre de 2014. Fecha de acceso: 22 de mayo de 2017.
http://www.ijc.org/en_/blog/2014/10/23/they_come_in_waves_seiches_tsunami/
32. *"Nieve efecto lago."* Teaching Great lakes Science: Michigan Sea Grant. N.p. Fecha de acceso: 18 de mayo de 2017. <http://www.miseagrant.umich.edu/lessons/lessons/by-broad-concept/earth-science/lake-effect-snow/>
33. *"Vivir con el clima: tormentas de invierno"*. Midwestern Regional Climate Center (MRCC). 2012-2016. Fecha de acceso: 16 de mayo de 2017.
http://mrcc.purdue.edu/living_wx/winterstorms/index.html
34. MacMahan, Jamie, Ad Reniers, Jenna Brown, Rob Brander, Ed Thornton, Tim Stanton, Jeff Brown y Wendy Carey. 2011. *Introducción a las corrientes de resaca basada en observaciones de campo*. Coastal Education and Research Foundation: Journal of Coastal Research 27 (4): iii-vi. doi: <http://dx.doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-11-00024.1>
35. McCartney, Anna. *Aprenda sobre su entorno*. Erie Times-News. 13 de enero de 2009. Fecha de acceso: 26 de mayo de 2017. <http://buffalonews.com/2014/10/18/oct-18-1844-great-flood-1844-devastates-buffalo/>
36. Meehan, Sara. *"18 de octubre de diciembre de 1844: La 'gran inundación de 1844' devasta Búfalo"*. 18 de octubre de 2014. Fecha de acceso: 26 de mayo de 2017.
<http://buffalonews.com/2014/10/18/oct-18-1844-great-flood-1844-devastates-buffalo/>
37. *"Radio meteorológica NOAA para todos los peligros"*. Administración Nacional Oceánica y Atmosférica.
38. Noble, Dennis L. *Grandes Lagos: una breve historia de las operaciones de la Guardia Costera de EE. UU.* Commandant's Bullentin Bicentennial Series. Coast Guard Public Affairs Staff. 1989. Fecha de acceso: 30 de mayo de 2017.
<https://media.defense.gov/2017/Jun/27/2001769192/-1/-1/0/GREATLAKES.PDF>
39. *"Hojas informativas de Ohio Sea Grant: Floraciones de algas nocivas en aguas de Ohio"*. NOAA; Sea Grant, The Ohio State University Extension, Ohio Department of Health, Ohio EPA y Ohio Department of Natural Resources. 2010. Fecha de acceso: 18 de mayo de 2017.
<http://epa.ohio.gov/Portals/28/documents/HABs/Publications/HABBrochure.pdf>
40. Peake, Bryan. *Midwest Weekly Highlights: 8 al 14 de noviembre de 2015*. 2015. Fecha de acceso: 25 de mayo de 2017. <http://mrcc.purdue.edu/cliwatch/1511/week2.htm>
41. *"Impactos climáticos trimestrales y perspectivas"*. Midwestern Regional Climate Center (MRCC). Septiembre de 2013. Fecha de acceso: 21 de julio de 2017.
<http://mrcc.purdue.edu/pubs/docs/GL-201309Summer-Final.pdf>
42. *"Impactos climáticos trimestrales y perspectivas"*. Midwestern Regional Climate Center (MRCC). Marzo de 2014. Fecha de acceso: 21 de julio de 2017.
http://mrcc.purdue.edu/pubs/docs/GL-201403Winter_FINAL.pdf
43. *"Impactos climáticos trimestrales y perspectivas"*. Midwestern Regional Climate Center (MRCC). Junio de 2014. Fecha de acceso: 21 de julio de 2017.
http://mrcc.purdue.edu/pubs/docs/GL-201406Spring_FINAL.pdf

44. *"Impactos climáticos trimestrales y perspectivas"*. Midwestern Regional Climate Center (MRCC). Septiembre de 2014. Fecha de acceso: 30 de mayo de 2017. http://mrcc.purdue.edu/pubs/docs/GL-201409Summer_Final.pdf
45. *"Impactos climáticos trimestrales y perspectivas"*. Midwestern Regional Climate Center (MRCC). Diciembre de 2014. Fecha de acceso: 1 de junio de 2017. http://mrcc.purdue.edu/pubs/docs/GL-201412Fall_Final_V2.pdf
46. *"Impactos climáticos trimestrales y perspectivas"*. Midwestern Regional Climate Center (MRCC). Septiembre de 2015. Fecha de acceso: 30 de mayo de 2017. http://mrcc.purdue.edu/pubs/docs/GL-201509Summer_FINAL.pdf
47. *"Impactos climáticos trimestrales y perspectivas"*. Midwestern Regional Climate (MRCC). Diciembre de 2016. Fecha de acceso: 5 de junio de 2017. http://mrcc.purdue.edu/pubs/docs/GL-201612Fall_FINAL.pdf
48. *"Impactos climáticos trimestrales y perspectivas"*. Midwestern Regional Climate (MRCC). Marzo de 2017. Fecha de acceso: 1 de junio de 2017. http://mrcc.purdue.edu/pubs/docs/GL-201703Winter_FINAL.pdf
49. *"Impactos climáticos trimestrales y perspectivas"*. Midwestern Regional Climate (MRCC). Junio de 2017. Fecha de acceso: 21 de julio de 2017. http://mrcc.purdue.edu/pubs/docs/GL-201706Spring_FINAL.pdf
50. Racklyeft, Jamie. *"El Consorcio de Seguridad del Agua de los Grandes Lagos publica consejos para salvar vidas y lograr un verano más seguro"*. 7 de junio de 2016. Fecha de acceso: 22 de mayo de 2017. <http://greatlakeswatersafety.org/resources/>
51. *"Corrientes de resaca"*. Minnesota Sea Grant. 7 de abril de 2015. Fecha de acceso: 16 de mayo de 2017. http://www.seagrant.umn.edu/coastal_communities/rip
52. Selbig, Jonathan. *Sieches [sic] en los Grandes Lagos*. Michigan State University. 2017. Fecha de acceso: 16 de mayo de 2017. <http://geo.msu.edu/extra/geogmich/seiches.htm>
53. *"Marejadas ciclónicas, seiches y ondas de borde"*. University of Wisconsin Sea Grant Institute. 2013. Fecha de acceso: 15 de mayo de 2017. <http://seagrant.wisc.edu/Home/Topics/CoastalEngineering/Details.aspx?PostID=694>
54. *"Oleadas y Seiches"*. Michigan Sea Grant. N.p. Fecha de acceso: 19 de julio de 2017. <http://www.miseagrant.umich.edu/lessons/lessons/by-broad-concept/earth-science/surges-and-seiches-2/>
55. El sitio web oficial de la División de Seguridad Náutica de la Guardia Costera de EE. UU. Guardia Costera de EE. UU. Junio de 2017. Fecha de acceso: 2 de junio de 2017. <http://www.uscgboating.org/>
56. *"La historia de Edmund Fitzgerald"*. National Weather Service (NWS). N.p. Fecha de acceso: 31 de mayo de 2017. https://www.weather.gov/mqt/fitz_fit
57. *"Tipos de corrientes"*. Michigan Sea Grant. Fecha de acceso: 22 de mayo de 2017. <http://www.miseagrant.umich.edu/dc/types-currents/>
58. *"¿Qué es una floración de algas nocivas?"* NOAA. 27 de abril de 2016. Fecha de acceso: 16 de mayo de 2017. <http://www.noaa.gov/what-is-harmful-algal-bloom>
59. *"¿Qué es la nieve con efecto lago?"* National Weather Service. N.p. Fecha de acceso: 18 de mayo de 2017. http://www.nws.noaa.gov/om/winter/lake_effect_snow.shtml

60. "*¿Qué es un meteorotsunami?*" National Tsunami Hazard Mitigation Program. Agosto de 2015. Fecha de acceso: 25 de mayo de 2017. <http://nws.weather.gov/nthmp/meteotsunamis.html>
61. "*¿Qué es un... Meteotsunami?*" NOAA and the National Tsunami Hazard Mitigation Program (NTHMP). 2015. Fecha de acceso: 17 de mayo de 2017. <http://nws.weather.gov/nthmp/documents/meteotsunamis.pdf>
62. "*¿Qué es un seiche?*" Servicio Oceánico Nacional NOAA. 29 de octubre de 2015. Fecha de acceso: 25 de mayo de 2017. <http://oceanservice.noaa.gov/facts/seiche.html>
63. "*Corrientes de resaca WRN*". NWS Weather Ready Nation (WRN). N.p. Fecha de acceso: 1 de junio de 2017. <http://www.ripcurrents.noaa.gov/>
64. "*WRN Invierno*". NWS Weather Ready Nation (WRN). Notario público. Fecha de acceso: 2 de junio de 2012.
65. Yaw, Christopher M. *Corrientes de resaca: qué son; Los peligros; Cómo escapar*. Coast Guard Great Lakes: Official Blog of the 9th Coast Guard District. 23 de mayo de 2013. Fecha de acceso: 16 de mayo de 2017. <http://greatlakes.coastguard.dodlive.mil/2013/05/rip-currents-what-they-are-the-dangers-how-to-escape-2/>