

INFLUENCIA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS Y CONDICIONES DEL AGUA EN LA APARICIÓN DE MAREAS ROJAS EN LA RÍA DE VIGO

Cerqueira Rodríguez Sergio, Luna Aguilar Gustavo, Rey Falcón Alejandro
Instituto del Agua, Universidad de Granada

Resumen

Los ecosistemas de ría en Galicia presentan una serie de características oceanográficas (corrientes, riqueza del fitoplancton,..) que convierten a la región en una de las zonas acuícolas más productivas del planeta. Su producto estrella es el mejillón en batea, y en su conjunto son responsables del 50% de la producción europea de mejillón y un 20% de la mundial.

En los últimos años se vienen repitiendo de forma casi sistemática un aumento del número de episodios de mareas rojas. Estos han obligado a cerrar durante gran parte del año los polígonos de extracción de moluscos bivalvos, debido a la presencia de toxinas procedentes de los bloom microalgales que contaminan el producto. Como podemos imaginar las pérdidas económicas son muy elevadas cuando ocurren estos episodios. La causa exacta de este aumento de mareas rojas tóxicas se desconoce, aunque parece ser que el cambio climático es una de las principales causas.

En este trabajo trataremos de evaluar la influencia de factores climáticos (viento, temperatura) así como las condiciones físico-químicas del agua (O_2 disuelto, pH, salinidad, conductividad) en los últimos años, y su relación con la aparición de mareas rojas.

Introducción

A lo largo de la historia los fenómenos de tinción de las aguas han estado siempre presentes y no han pasado desapercibidos para las civilizaciones pasadas. Desde la furia de Neptuno, la purgación de los lechos marinos o incluso relacionándolo con erupciones volcánicas submarinas, durante siglos nadie consiguió explicar estos episodios de forma satisfactoria. Sin embargo, no data de muchos años atrás cuando se comienzan a conocer sus verdaderas causas. A inicios del siglo XX las mareas rojas eran un fenómeno muy común en verano en las Rías Baixas y no existían estudios científicos sobre el agente que las causaba. Ya entrado el siglo XX, la gran producción acuícola gallega, especialmente de mejillón, comenzaba a exportarse y casos de intoxicaciones adquirieron un mayor interés institucional. Desde entonces numerosos estudios llevados a cabo han ido arrojando luz sobre estos episodios, los cuales nos proporcionan toda la información de la que disponemos actualmente [1].

Hoy día, podemos definir una marea roja como un fenómeno natural que consiste en una proliferación excesiva de algas microscópicas en el mar. Debido al hecho de que estas algas presentan pigmentos para realizar la fotosíntesis, estos colorean el agua de mar. Al crecer millones de algas por litro alteran el color del agua y veremos el color de sus pigmentos. Pese a que la forma general de llamar a estas proliferaciones son mareas rojas, ni estos episodios están relacionados con las mareas, ni necesariamente van a teñir

el mar de rojo. Estas coloraciones pueden ser también de color anaranjado, verde o pardizo en función del organismo responsable y sus pigmentos.

Estas algas forman parte del fitoplancton, que es la base de la cadena alimentaria y del cual se alimentan todos los moluscos bivalvos filtradores (mejillón, almeja, navaja, vieira). Por tanto, su presencia será positiva para el crecimiento de estos. Sin embargo, ciertos géneros de dinoflagelados y algas diatomeas producen una serie de toxinas que, debido a la acción filtradora de los moluscos se irán acumulando en su interior. Bajo ciertas condiciones de temperatura del agua, salinidad, disponibilidad de nutrientes, mareas y vientos, estas micro algas pueden proliferar de forma explosiva. Si estas proliferaciones llevan asociada la producción de alguna toxina es cuando se desata el problema.

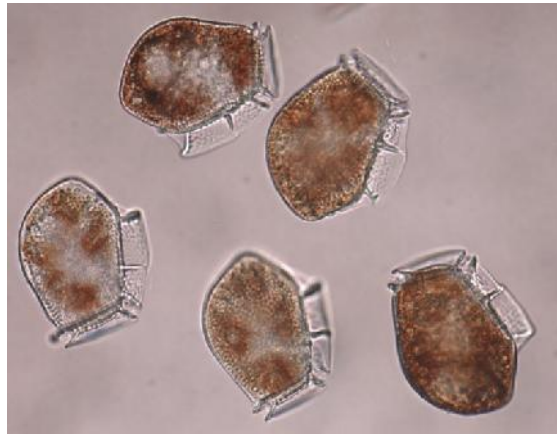


Imagen de dinoflagelados del género *Dinophysis* productores de toxina DSP

Las toxinas no afectan de igual forma a todos los bivalvos. Aquellos que son más activos y con una capacidad de filtración mayor (mejillón), serán capaces de depurar mejor la toxina que otros con menor actividad como por ejemplo la vieira. Independientemente del tiempo que puedan encontrarse en el interior de los moluscos bivalvos, estas toxinas son inofensivas para ellos, pero no así para los seres humanos. Una extracción de producto contaminado, puede ir a parar al mercado con los peligros que ello conlleva para la población.

En las costas gallegas podemos diferenciar principalmente tres grupos principales de toxinas:

-Toxinas diarreas (DSP): Se caracterizan por producir episodios tóxicos con presencia de diarreas, náuseas o dolor abdominal. Son producidas por dinoflagelados y, aunque son el grupo que presenta menos peligros para el ser humano, su amplia distribución geográfica y frecuencia de aparición las convierte en el grupo más importante dentro de las rías gallegas. Son responsables de la mayor parte de los cierres en los sistemas de explotación de moluscos. Su principio activo es el ácido okadaico y su límite legal se sitúa en 160ug eq OA /kg de molusco.

-Toxinas amnésicas (ASP): Sus episodios tóxicos son más graves que las anteriores, donde los síntomas pueden ir desde un entumecimiento muscular o picazón leve hasta parálisis respiratoria en los casos más graves. Son producidas por algas diatomeas y son

menos habituales que las anteriores. Su principio activo es el ácido domoico y el límite legal son 20mg eq DA/kg de molusco.

-Toxinas paralizantes (PSP): Presentan una sintomatología caracterizada por espasmos abdominales, vómitos, desorientación y amnesia. Son también producidas por dinoflagelados. En el año 1976 hubo una proliferación de un dinoflagelado de este grupo el cual contaminó mejillones que fueron exportados. A raíz de este episodio se decidió poner en marcha el sistema de análisis de toxinas para el control de los moluscos. El principio activo es la Saxitoxina y su límite legal es 800ug eq STX/kg de molusco [2].

Afortunadamente hoy en día se lleva a cabo un exhaustivo control diario de los moluscos extraídos, por lo que podemos decir que el riesgo de producirse una intoxicación es casi inexistente. Se realizan casi tantos controles en Galicia como en el resto de la Unión Europea. Cada grupo de bateas se analiza por separado, lo que en ocasiones permite seleccionar de forma precisa que grupos deben permanecer cerrados y cuáles no, proporcionando flexibilidad a la hora de saber qué polígonos de bateas se encuentran en buen estado pese a la presencia de una marea roja cercana. Este control de calidad es llevado a cabo por el Instituto tecnológico para el control del medio marino de Galicia (INTECMAR) [3].

En estos controles de calidad, el mejillón es la especie indicadora por excelencia. Es capaz de filtrar hasta 7 litros de agua por hora lo que le convierte en el bioindicador diana marino. Si ocurre algún cambio en el agua el mejillón va a proporcionar una respuesta casi inmediata.

Es importante resaltar que estos episodios son completamente inevitables. No se puede evitar la aparición de mareas rojas ya que se trata de un fenómeno natural. En lo que se está trabajando y hacia dónde van las investigaciones hoy día, es en tratar entender bajo qué condiciones se dan estos fenómenos y así crear modelos predictivos que nos permitan anticiparnos a su aparición. Teniendo en cuenta que la costa gallega es responsable de un 50% de la producción europea de moluscos bivalvos y un 20% de la mundial, predecir la aparición de mareas rojas podría suponer evitar una gran cantidad de pérdidas monetarias en base a evitar la extracción del producto contaminado.

Zona de estudio

La ría de Vigo se localiza en la provincia de Pontevedra, Galicia (España) y presenta una longitud de 35 km en dirección suroeste y una anchura que va desde 600 m a 10 km, generando una superficie de 176 km² con un volumen de 3117 hm³ aproximadamente. Esta ría se caracteriza por tener unas aguas tranquilas y de las más profundas de las rías Baixas de Galicia. Esto permite junto con su situación geográfica que sea unos de los puertos más importantes de Europa, con un enorme tráfico marítimo en la zona. Mirando a la ría se localizan las Islas Cíes, patrimonio natural que pertenece al Parque Nacional de las Islas Atlánticas.

Esta zona tiene un particular interés en la producción acuícola, llegando a acoger 12 polígonos que componen una flota de 478 bateas (14% del total de la producción de

Galicia) sin embargo, en los últimos años la calidad del agua ha ido disminuyendo debido a la gran presión humana e industrial sobre la costa en la cual se encuentra situada la ciudad de Vigo. En sus proximidades se encuentran también los municipios de Bayona, Nigrán, Redondela, Sotomayor, Vilaboa, Moaña y Cangas con una población total de 420.000 habitantes. Como se puede observar, la ría de Vigo tiene una fuerte importancia socio-económica, tanto por su producción como por su interés turístico, que determinará directamente su estado ecológico.

El río que da inicio a esta ría es el Verdugo, con un recorrido de 41 km desde su nacimiento en la aldea de Cernadelo a 760 m de altura. A medida que se va acercando a su desembocadura, este se va encajando más y más, formando valles en V. El caudal medio anual en este punto es de 17 m³/s, aunque en épocas de lluvia puede aumentar considerablemente.

Respecto a la litología, el origen de la ría se encuentra dentro de la orogénea Hercínica. Los materiales recientes cuaternarios son escasos y de perfiles de poco espesor que se asientan sobre rocas ígneas y metamórficas, especialmente granitos (lo que no se aleja de la clásica geología gallega) [4] pag23.

El sedimento de la ría sufre un reparto longitudinal con el eje, localizando los granos más finos en las zonas más internas y a lo largo del eje mientras que los gruesos se depositan en la parte media y externa. Los sedimentos de los márgenes de la ría están constituidos por fragmentos bioclásticos, calcáreos y silíceos. Los bioclastos están principalmente compuestos de CaCO₃ proveniente de los restos de los caparzones de moluscos que se acumulan especialmente en los márgenes por acción del oleaje. Por otra parte, los materiales fangosos (principalmente arcillas) de los alrededores del eje incluyen una importante carga de materia orgánica, formando entre un 2 y un 10% del sedimento total (los sedimentos oceánicos profundos tan solo contemplan un 0,5%). Cabe destacar que, asociados a este material se pueden encontrar metales pesados como plomo, zinc o cromo, por lo que es necesario un control de estos compuestos, especialmente cuando se localizan en una zona de alta productividad alimenticia como es la ría de Vigo [4] pag 28.

Ilustración I: Ría de Vigo (Google maps)



Dinoflagelados

Se corresponden con los principales microorganismos causantes de las mareas rojas. Son protistas flagelados, cosmopolitas y se integran en el fitoplancton. Contienen clorofila, generalmente clorofila a, aunque algunas especies también contienen clorofila c. Se pueden dividir en dos grandes grupos diferenciados por la presencia o ausencia de placas celulósicas en la pared celular (tecados o atecados). Por detrás de las diatomeas, son el segundo grupo más importante del fitoplancton, responsable de la producción primaria en las cadenas tróficas de los océanos.

Algunos dinoflagelados presentan bioluminiscencia, es decir, son capaces de generar luz cuando oxidan sus grasas con fósforo. Este es el caso de la *Noctiluza centillas*, que dota al mar de unos mágicos destellos azules allí donde el agua es agitada.

Miden entre 50 y 500 μm y constan de dos flagelos, uno transversal pectinado que se encarga del movimiento de giro y otro longitudinal penado que lleva a cabo el avance de la misma. Existen tanto autótrofos (generalmente de color pardo-dorado) como heterótrofos, y también hay especies de dinoflagelados parásitos y simbioses. Los fotosintéticos presentan un comportamiento diario en el que se mueven verticalmente en la columna de agua, aprovechando así en las mejores condiciones la captación de la radiación solar. A pesar de ello, casi todos necesitan de una fuente externa de vitamina B12, carbono orgánico, nitrógeno y fósforo.

La reproducción sexual solo se conoce en algunos pocos géneros, por lo que la mayoría se reproducen por fisión binaria con un tiempo de división similar al de las diatomeas. Por otra parte, algunos de estos microorganismos pueden dar lugar a formas de resistencia o quistes. Gracias a esta característica, las algas dinoflageladas pueden entrar en periodos de latencia cuando las condiciones externas del medio son desfavorables, entrando así a formar parte del sedimento marino en una fase bentónica de su ciclo [5].

El inicio de las mareas rojas está fuertemente conectado con el ciclo de vida de los dinoflagelados, especialmente con los factores ambientales que hacen que estos seres pasen de su estado planctónico (célula biflagelada relativamente más habitual en verano) a bentónico y viceversa. El cambio entre una fase y otra puede venir marcado por incremento de la radiación, de la temperatura o de nutrientes. Debido a las características del ciclo de vida de los dinoflagelados, se puede hablar de que cuando se produce por primera vez una marea roja en algún lugar, esta queda conquistada por estas algas, pudiendo aparecer nuevos afloramientos periódicos.

Será en zonas costeras, con regímenes de circulación restringidos, donde se producirán mareas rojas de forma más regular. Mientras que en zonas más profundas, las formas de resistencia sufrirán un transporte y disminución de su concentración, dependiendo siempre del régimen hidrológico.

Se han encontrado sedimentos ricos en estos quistes con una concentración de toxinas 10 veces superior a la de las formas planctónicas. Debido a un afloramiento

especialmente fuerte o a una tormenta, estos quistes pueden alcanzar la zona fótica y pasar a su forma planctónica [6] pag. 2.

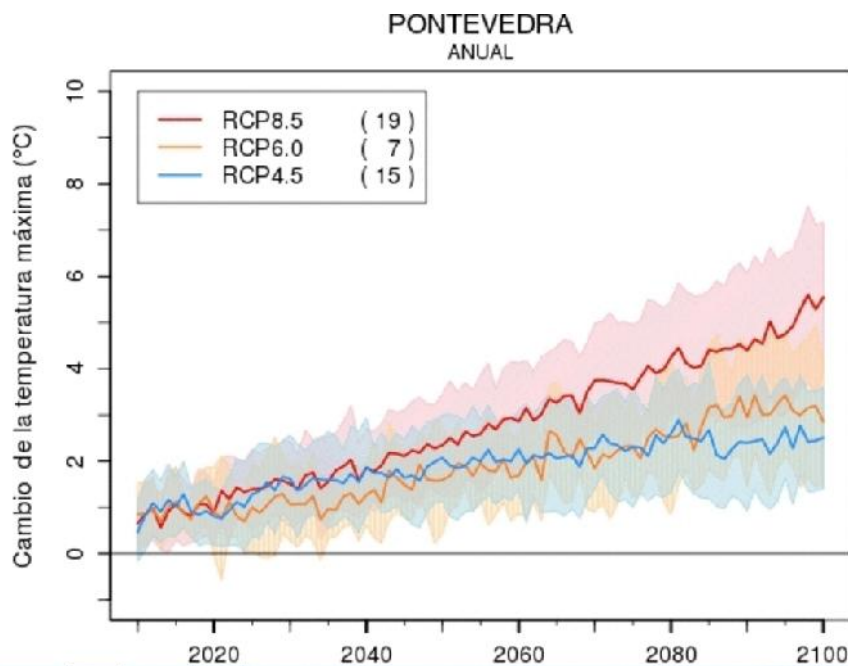
Posibles factores desencadenantes de las mareas rojas

Temperatura

En la mayoría de los episodios descritos, este fenómeno está relacionado con incrementos anormales de la temperatura y falta de agitación de la masa de agua, generándose de esta forma una termoclina. Es aquí donde los dinoflagelados (especie migratoria) entran a competir con otras especies de algas no migratorias (como las diatomeas), explotando la radiación solar durante el día y los nutrientes durante la noche por debajo de la termoclina.

Las dinoflageladas pueden realizar un desplazamiento de 1-2 m en una hora, profundizando 10-15 m en un día alcanzando de esta forma aguas más profundas mucho más ricas en nutrientes. Holms y co. (1967), estudiando una marea roja, cuantificaron en 0.07 $\mu\text{M/l}$ la concentración de nitratos en la superficie, mientras que a 6 m de profundidad la concentración ascendía a 0,3 $\mu\text{M/l}$ y 7,12 $\mu\text{M/L}$ a los 12 metros. Podemos resumir en que la temperatura es un factor que favorece el desarrollo de dinoflageladas frente a otros tipos de algas.

Actualmente y desde hace décadas nos encontramos en una tendencia global de aumento de las temperaturas debido al cambio climático, y aparentemente esto no es algo que vaya a cambiar. De aquí a 100 años los modelos predictivos estiman un aumento de varios grados de temperatura, algo que podría influir de forma muy importante en la dinámica y el ecosistema de la ría.



Evolución de las temperaturas máximas en Pontevedra en tres escenarios diferentes. Gráfica obtenida de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

En la gráfica se observa la estimación por parte del AEMET en tres posibles escenarios diferentes. Los valores numéricos hacen referencia a la acción del ser humano. El RCP 8.5 considera un escenario con altas emisiones, mientras que el RCP 4.5 considera uno donde se lleven a cabo políticas orientadas a mitigar en la medida de lo posible los efectos del cambio climático.

Salinidad

Hay estudios que parecen demostrar cierta relación indirecta entre la salinidad y la proliferación de algunas especies de dinoflagelados. Sin embargo, el crecimiento de estas algas parece más condicionado por la cantidad de nutrientes que llega de los sistemas lóticos que por la salinidad en sí, es decir, con un mayor aporte de agua dulce (y sus correspondientes nutrientes), las algas dinoflageladas obtendrán un ecosistema más óptimo para su desarrollo, teniendo como consecuencia una disminución de la salinidad. Dicho esto, es posible que sea erróneo pensar que la salinidad sea un factor que afecte directamente a la aparición de mareas rojas [6] pag. 5-7.

Contaminación de las aguas

Ciertas fuentes de contaminación (especialmente los residuos urbanos) pueden favorecer directamente los afloramientos de algas dinoflageladas, ya que estas conllevan un aporte de nutrientes, vitaminas y otras sustancias quelantes.

Vientos

Lejos de parecer a simple vista un factor que condicione la actividad de las algas dinoflageladas, en las rías gallegas el viento es posiblemente el fenómeno más determinante en la aparición de mareas rojas. En el caso de la ría de Vigo, cuando el viento sopla del norte, debido al efecto Coriolis, se produce un movimiento de la superficie del mar de unos 45° hacia el oeste (en el hemisferio norte) e irá variando su ángulo con la profundidad en el sentido de las agujas del reloj. Esto se traducirá en un movimiento de 90° (hacia el oeste) generalizado en la columna del agua, llamado espiral de Ekman. El efecto que este fenómeno tendrá en las rías gallegas es el de favorecer la circulación y renovación del agua dentro de la ría gracias al transporte de Ekman, es decir, se crea un déficit de agua en la costa favoreciendo los famosos afloramientos (o upwelling) que arrastran los nutrientes desde el fondo. Esto crea una situación idónea para el desarrollo del fitoplancton y por tanto del mejillón.

Si se produce un afloramiento muy intenso, puede darse un bloom de nuestras algas dinoflageladas productoras de toxinas, además el problema podría incrementarse si se da un rápido cambio en los vientos que empiezan a soplar desde el sur. En este caso, se producirá una entrada de agua marina dentro de la ría, impidiendo la renovación del

agua y, por tanto, la acumulación de estas toxinas, que estarán disponibles para los organismos acuáticos hasta que cambie la dirección del viento [4] pag54.

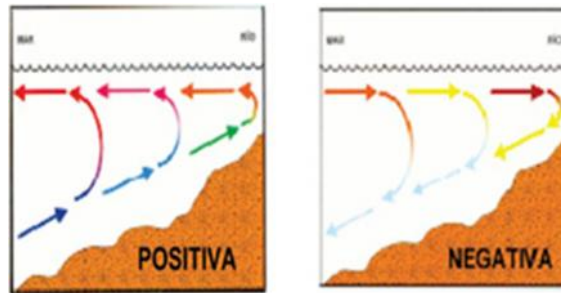
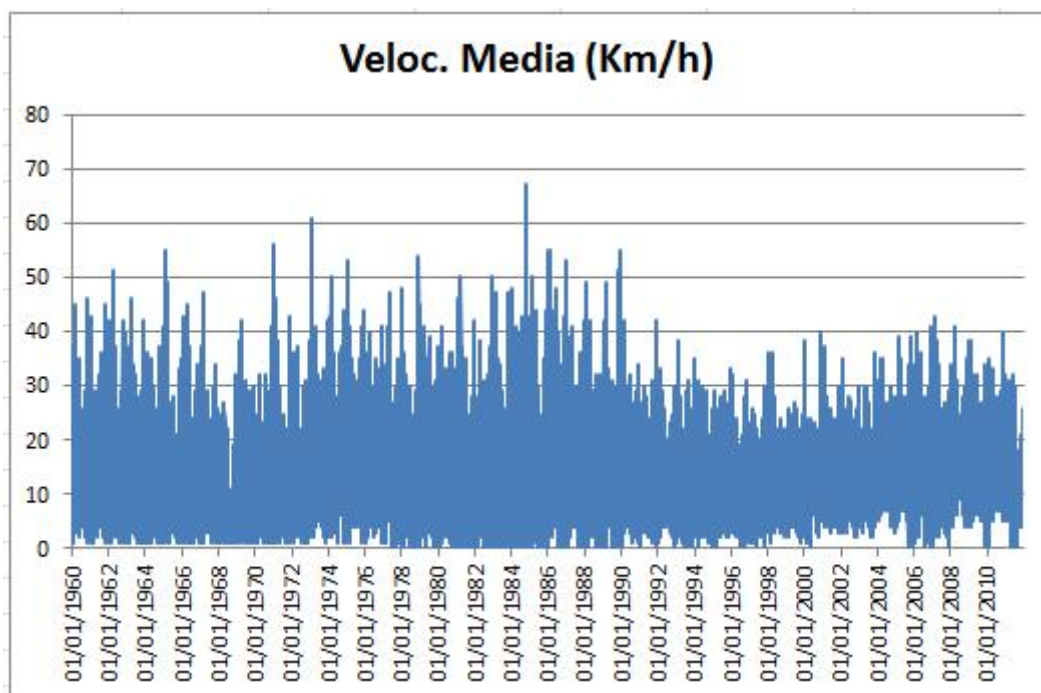


Ilustración II: Transporte de Ekman: viento del norte (izquierda) / viento del sur (derecha)

(Estudio: HIDROGRAFIA Y DINÁMICA DE LA RÍA DE VIGO)

Gráfica que muestra la evolución de la velocidad media de los vientos en la región. En los últimos 15-20 años la intensidad del viento es menor que en fechas anteriores, lo cual, en relación a lo descrito, es algo que puede afectar de forma importante a la dinámica de la ría.



Evolución histórica de la velocidad media de los vientos en la región. Datos obtenidos para la gráfica de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Metodología

Para la realización de este trabajo se han usado una serie datos obtenidos del Instituto Tecnológico para el Control del Medio Marino de Galicia (INTECMAR) [3]. Esta organización se encarga de llevar un control de las condiciones de las aguas costeras

gallegas para asegurar el cumplimiento de la legislación vigente de cara a la producción de moluscos y otros organismos marinos, a través del seguimiento de diferentes parámetros y la investigación de la calidad ambiental. Por otra parte, el instituto también aporta el número de días de cierre de la producción de mejillón en cada mes desde el año 2000 debido a la presencia de toxinas superiores a los límites establecidos. Esta evaluación la haremos para dos polígonos de bateas que serán Redondela A y Vigo A, los cuales se encuentran a diferente altura de la ría. El polígono de Redondela A se sitúa unos 3-4 km más hacia el interior de la ría que el de Vigo A.

La toma de datos se hace mediante unas boyas que retransmiten mediciones con un periodo irregular de días (entre una medición y otra puede pasar un día o muchos más). Los datos proporcionados en un día se corresponden con el valor del parámetro en cuestión a lo largo de la columna de agua, desde la superficie hasta los 15 m de profundidad.

Para este estudio se han seleccionado los datos de la boya de Moaña (V2) debido a su situación intermedia dentro de la ría de Vigo con la intención de reflejar las condiciones propias de una masa de agua de transición. En este trabajo se han seleccionado las series de datos de los últimos 3 años (2014-2016) de los siguientes parámetros:



Ilustración III: Boyas de medición de

<http://www.intecmar.org/>

- Temperatura (°C)
- Salinidad (%) y conductividad (S/cm)
- pH
- Oxígeno disuelto (ml/l)

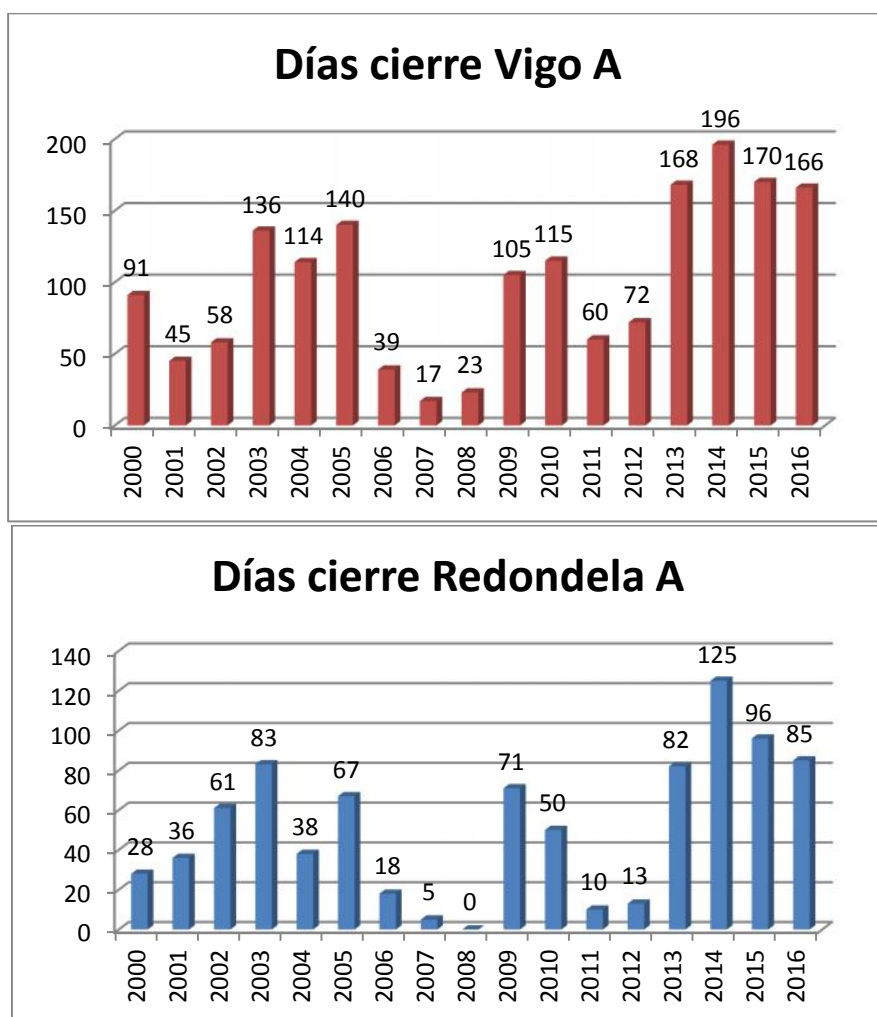
En las gráficas mostradas en el siguiente apartado de resultados, aparece la evolución de cada parámetro a lo largo de cada uno de los años estudiados con el fin de apreciar las variaciones estacionales e intentar relacionar los resultados con los momentos de cese de la producción de mejillones. Los puntos con los que se ha hecho el análisis se

corresponden con el valor medio a lo largo de la columna de agua (hasta 15 m desde la superficie) de cada día medido.

Es necesario mencionar que se han obtenido algunos valores incoherentes tales como valores de pH superiores a 14 (2014), o una evolución demasiado irregular con valores demasiado bajos del oxígeno disuelto (2015). Ninguno de los dos casos se ha tenido en cuenta a la hora de intentar deducir conclusiones en el estudio.

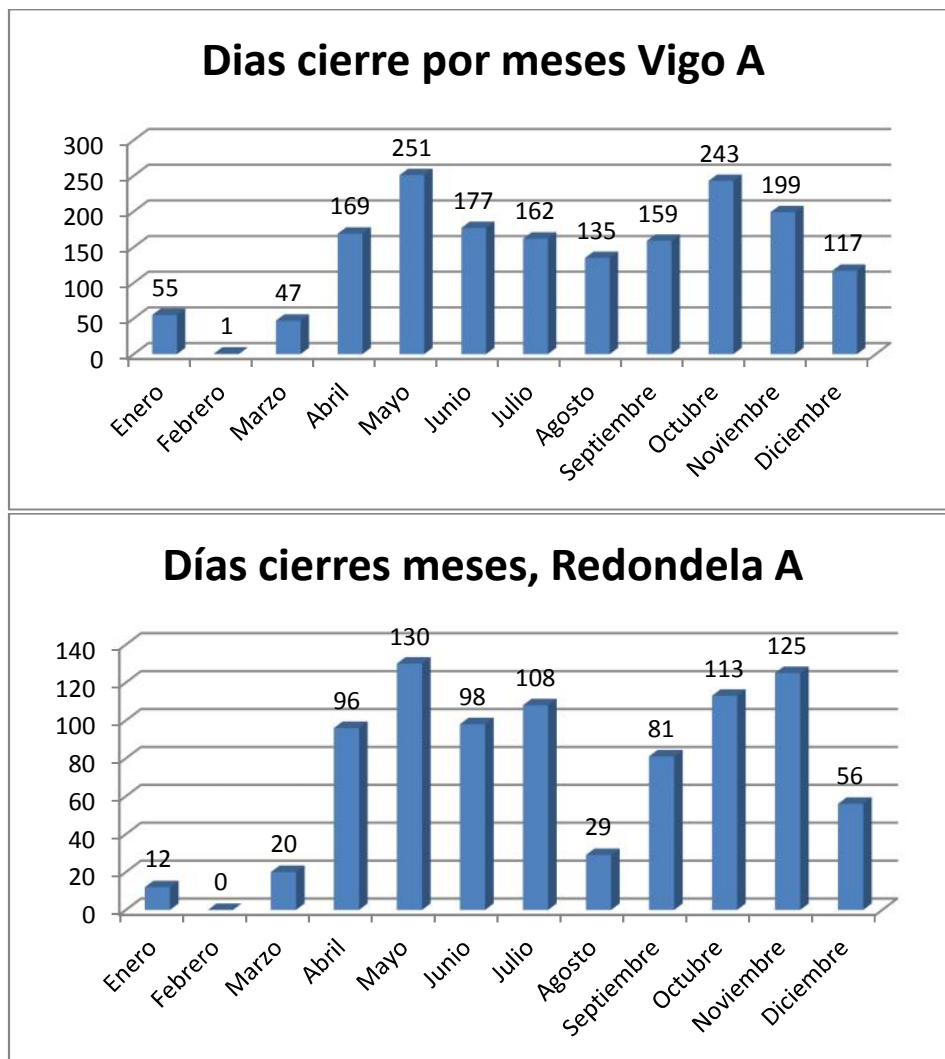
Resultados

Como hemos mencionado en la metodología, teniendo en cuenta los datos proporcionados por el Instituto tecnológico para el control del medio marino de Galicia (INTECMAR) [3], podemos ver con exactitud la evolución de los días de cierre de las instalaciones de extracción de mejillón durante una serie de años. Esta evaluación del cierre la hemos hecho para dos polígonos de bateas de la ría de Vigo; que son Redondela A y Vigo A.



Evolución del número de días de cierre desde el año 2000. Vemos que para ambos puntos de producción los años con un mayor número de cierres son los 4 últimos. Esto nos puede dar una idea de que algo ha cambiado en las aguas en los últimos años.

Las siguientes graficas nos muestran el número de días totales de cierres por mes a lo largo de los 17 años.

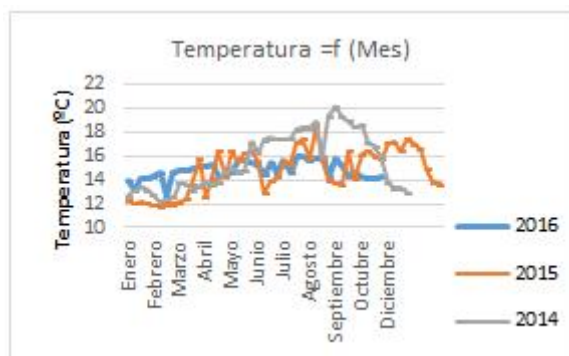


Para ambos puntos de extracción mejillonera observamos que presentan un comportamiento similar con dos bloques con mayores días de cierre claramente diferenciados a lo largo del año. Uno se sitúa en los meses de primavera (abril, mayo, junio) y el otro en los meses otoñales de septiembre y octubre.

Si ahora realizamos también una comparación entre los dos puntos evaluados observamos que Vigo A presenta unas cifras claramente mayores a las de Redondela A. Esto lo podemos relacionar con su posición geográfica. El polígono de Redondela A se sitúa en las proximidades del municipio que lleva el mismo nombre, y se emplaza aproximadamente unos 3-4 kilómetros más hacia el interior de la ría que el de Vigo A. Esta diferencia de días de cierre y su posición geográfica lo podemos relacionar con la renovación de las aguas de la ría. Las aguas que bañan el agua del polígono de Vigo A se verán renovadas más a menudo que las de Redondela A, con el correspondiente aporte de nutrientes que trae esto asociado. Por tanto podemos decir que en condiciones normales el polígono de Vigo A sería más productivo que el de Redondela A, y a la vez más susceptible de verse afectado por las proliferaciones de microalgas tóxicas.

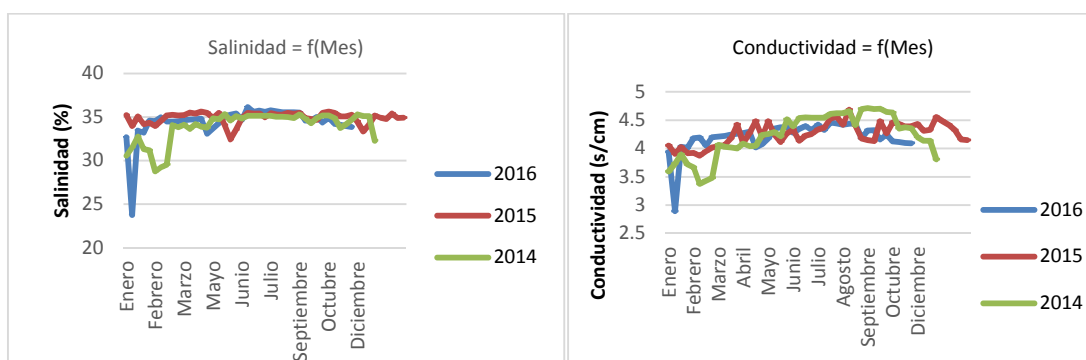
Ahora vamos a tratar de evaluar las medidas de los parámetros físico-químicos descritos anteriormente:

- Temperatura:



El año que presenta unas temperaturas medias más altas es el 2014, coincidiendo con el año (de los 3 estudiados) en el que las bateas permanecen cerradas durante más días debido a las mareas rojas. Sin embargo, dado el corto alcance de nuestro estudio no podemos afirmar que exista una relación directa entre la temperatura del agua y la proliferación de algas rojas.

- Salinidad y conductividad:



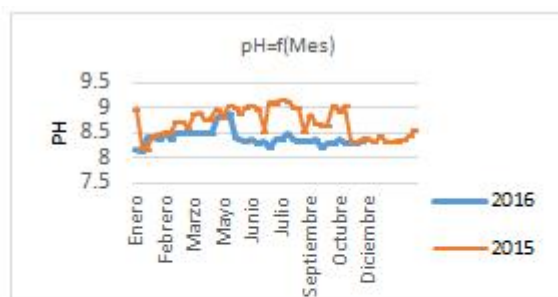
En estas gráficas se da la evolución estacional esperada, aunque no se aprecie completamente bien en la gráfica izquierda. Apreciamos un incremento progresivo de la salinidad en los meses más cálidos, mientras que este disminuye en los meses otoñales e invernales. La explicación para este fenómeno residiría en que, durante los meses cálidos, disminuyen tanto las precipitaciones como los aportes fluviales a la vez que aumenta la evaporación, mientras que en los meses invernales los aportes fluviales son muy elevados.

Además, estos factores coinciden con una mayor intensidad de los vientos procedentes del norte, robándole fuerza a los del sur y dando lugar al transporte de Ekman. De esta

forma, se incrementa la renovación del agua de la ría, favoreciendo la entrada de agua salada y aumentando la concentración de sales.

Cabe resaltar el brusco valor descendente de salinidad y conductividad que se da en el mes de enero del 2016.

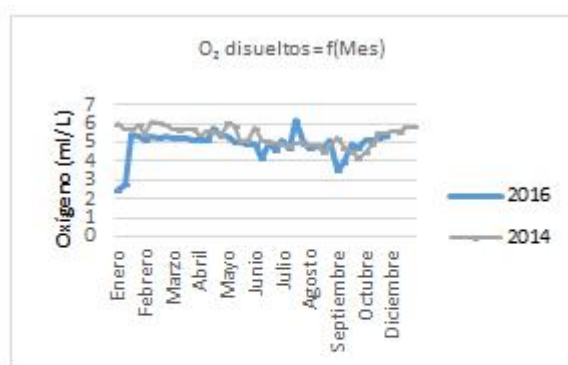
- pH:



***No tendremos en cuenta el valor discordante del pH de octubre de 2015 ni ninguno de los valores de 2014 (pH > 14), ya que se tratan claramente de un errores en la boya de medición**

El valor de pH de la ría de Vigo parece oscilar entre 8 y 9, lo que la aleja significativamente de los valores medios del océano (7.5 y 8,4). Esto puede deberse a que en la ría existe una mayor concentración de CaCO_3 que en el océano, lo que incrementa el pH. Resulta más que probable que la intensa producción de bivalvos de las rías gallegas sea un importante aporte de CaCO_3 .

- Oxígeno disuelto:



- No tendremos en cuenta los valores los valores del oxígeno disuelto del año 2015, debido a que sus radicales variaciones y bajos niveles no nos parecen coherentes.

Podemos observar la ligera variación estacional del oxígeno disuelto a lo largo del año, aumentando en los meses fríos y disminuyendo en los más cálidos. Esto se debe a las propiedades del oxígeno, que 2de la temperatura.

El comienzo de la bajada del oxígeno disuelto del año 2014 coincide con el inicio de una fuerte temporada de cierres. Además, en julio del 2016 se produce un anormal aumento en la concentración de oxígeno que se refleja en la apertura de la producción de mejillones después de un cierre completo de 3 meses. Por otra parte, en septiembre de 2016 las bateas se cierran durante un único día, sin embargo este mes presenta uno de los valores más bajos de oxígeno en el agua de todo el año. Es por ello que no podemos establecer una tendencia clara de la aparición de toxinas en la ría en referencia al oxígeno.

Conclusiones

- En primer lugar es necesario definir las limitaciones de este trabajo y es que consideramos que, el analizar tan solo los datos de los tres últimos años, es insuficiente para poder hacer alguna afirmación de peso sobre por qué se dan éstas mareas rojas. Al tratarse de un sistema dinámico que depende de tantas variables presenta una elevada complejidad a la hora de predecir la aparición de los episodios de mareas rojas. Por tanto, es necesario trabajar con series de datos temporales relativamente grandes.
- Uno de los objetivos de este trabajo pretendía estudiar (por medio de la salinidad y de la conductividad) si sería apreciable una relación entre el aumento de nutrientes y la aparición de toxinas en la ría debida a la presencia de dinoflagelados. No obstante, con nuestros datos es complicado saber si el aumento de la conductividad se debe a una mayor presencia de nutrientes o a un aumento de la salinidad (ambas gráficas presentan evoluciones estacionales similares). Además, también se dan muchos cierres en meses en los que la conductividad desciende.
- Por otra parte, antes de analizar los resultados se esperaba observar un aumento del oxígeno disuelto en aquellos meses en los que se produjeran cierres prolongados, debido a una mayor producción fotosintética por parte de los blooms de algas, o, quizás, algún descenso brusco del oxígeno disuelto debido a la degradación de la materia orgánica de estos blooms. Sin embargo el oxígeno disuelto parece seguir una tendencia estacional normal en la que no se aprecian muchas variaciones.
- A priori los factores más determinantes son el viento y la temperatura del agua. En cuanto a la temperatura, todo apunta a que su variación está relacionada con el cambio climático. Si continúa la tendencia de las últimas décadas hacia un aumento de la temperatura de las aguas, se podrían llegar a producir cambios en el ecosistema marino de la ría (migración de especies, cambios de las condiciones físico-químicos), lo cual podría llegar a afectar a la producción de los moluscos bivalvos. En cuanto al viento no hemos conseguido obtener información acerca de cómo puede evolucionar en los próximos años.

Bibliografía

1. Fernando Gómez. (2006). Historia de las investigaciones sobre dinoflagelados marinos. Universit  de la Mediterrane .
2. Decreto 28/2005, por el que se regula el control de las biotoxinas en moluscos bivalvos y otros organismos procedentes de la pesca, el marisqueo y la acuicultura. DOG num. 38. Xunta de Galicia
3. Instituto Tecnológico para el Control del Medio Marino de Galicia (INTECMAR). <http://www.intecmar.gal/>
4. Vilas Martín, F.,  lvarez Salgado, J. A., & González Garcés, A. (s.f.). (2008). LA R A DE VIGO, Una aproximación integral al ecosistema marino de la R a de Vigo. (I. d. Vigueles, Ed.) Vigo, Galicia, España: INSTITUTO DE ESTUDIOS VIGUESES (Fundación Provigo e a s a área).
5. <https://www.asturnatura.com/algas/dinophyta.html>
6. J.I. Carreto, M.L. Lasta, R. Negri y H. Benavides. (1981). Los fenómenos de marea roja y la toxicidad de moluscos bivalvos en el mar argentino. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), República Argentina.
7. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). <http://www.aemet.es/es/portada>
8. Centro Oceanográfico de Vigo. <http://www.vi.ieo.es/>
9. Biotoxinas marinas. Estudio FAO: Alimentación y nutrición: <http://www.fao.org/3/a-y5486s.pdf>
10. Alejandro Pérez Camacho. (1989). Las mareas rojas y la acuicultura en Galicia. Instituto Español de Oceanografía. Centro de A Coruña. Apartado 130, Muelle de Animas.