

Sesión Especial

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN LOS MARES MEXICANOS

Organizador:
Saúl Álvarez Borrego

SE17-1

BIOMASA Y PRODUCCIÓN DEL FITOPLANCTON EN LA CORRIENTE DE CALIFORNIA FRENTE A BAJA CALIFORNIA

Gaxiola Castro Gilberto¹, Cepeda Morales Jushiro¹, Nájeta Martínez Sila¹, Espinosa Carreón T. Leticia², De la Cruz Orozco Martín Efraín¹, Sosa Ávalos Ramón³, Aguirre Hernández Elsa¹ y Cantú Ontiveros Juan Pablo¹

¹División de Oceanología, CICESE

²Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, IPN

³Facultad de Ciencias Marinas, UCOL

ggaxiola@cicese.mx

Se presentan la clorofila-a y la producción del fitoplancton de la zona IMECOCAL obtenidos para el período 1998-2007. La clorofila-a integrada fue mayor durante primavera y verano de todos los años, con un promedio anómalo máximo de 150 mg m⁻² en el invierno de 2002. A partir del 2003 y hasta el 2006 hubo una disminución en la biomasa del fitoplancton con valores integrados cercanos a 50 mg m⁻² y anomalías negativas en relación a la media climatológica estacional, con la tendencia a incrementarse a partir del 2007. Aunque esta variabilidad temporal se presentó en toda la zona IMECOCAL, las concentraciones altas de clorofila-a integrada en 2002 fueron más evidentes hacia el sur. Con base a la clorofila-a se identificaron tres regiones características frente a Baja California, una eutrófica cercana a la costa (>1.0 mg m⁻³), otra mesotrófica (1.0 mg m⁻³<clorofila-a#0.5 mg m⁻³), y una tercera oceánica oligotrófica (#0.2 mg m⁻³). Si bien la tendencia general entre la clorofila-a y la producción primaria fue muy similar, esta última tuvo un comportamiento estacional diferente, con variabilidad alta y valores mayores (~200 mgC m⁻² h⁻¹) durante La Niña 1999-2000 y de intermedios a bajos (<50 mgC m⁻² h⁻¹) durante los períodos de biomasa alta del fitoplancton en La Niña 2002. Contrario a la biomasa del fitoplancton, otoño e invierno fueron las estaciones del año con tasas mayores de producción primaria, posiblemente asociadas al incremento del fitoplancton pequeño (nano-picofitoplancton) con eficiencia fotosintética mayor. El fitoplancton del ecosistema pelágico frente a Baja California respondió a procesos de gran escala como El Niño (1997-98; 2003), La Niña (1999; 2002) y al ingreso de agua de un gran volumen de agua subártica (2003-2006), con una señal más evidente en la biomasa que en la producción primaria. En particular, el efecto de La Niña (1999; 2002) en la clorofila-a fue muy diferente al generado por el transporte en exceso de agua del subártico (2003-2005), lo que indica mecanismos y efectos distintos sobre el ecosistema pelágico de la zona IMECOCAL.

SE17-2

PRODUCCIÓN PRIMARIA FITOPLANCTÓNICA EN LA REGIÓN SUR DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA DURANTE JULIO DE 2008

Espinosa Carreón T. Leticia¹, Valdez Diarte Sania², Gaxiola Castro Gilberto³ y De la Cruz Orozco Martín Efraín³

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, IPN

²Universidad de Occidente

³División de Oceanología, CICESE

leticiaesp@gmail.com; tespinosac@ipn.mx

El desarrollo industrial que ha tenido el hombre en los últimos siglos y más aún en las últimas décadas ha incrementado la concentración de CO₂ atmosférico y por ende el efecto invernadero, por lo que se vuelve necesario conocer el estado de captación de CO₂ en los mares mexicanos, el conocimiento de la producción primaria fitoplanctónica (PP) es un factor importante para conocer cómo el océano es considerado una fuente o un sumidero de CO₂. La PP, presenta variaciones espacio-temporales debido a diferentes procesos físicos, como surgencias, remolinos, frentes, forzamientos remotos, locales, e incluso la presencia de los eventos interanuales como El Niño y La Niña, por lo que el objetivo de este estudio fue conocer la relación entre la PP y su relación con algunos procesos físicos en la región sur de la Corriente de California (CC) durante julio de 2008. Este trabajo forma parte del programa Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL). En julio de 2008 se realizó la campaña oceanográfica IM0708 a bordo del buque oceanográfico Francisco de Ulloa. La región IMECOCAL (sur de la CC) se localiza frente a la Península de Baja California entre los 24° y 32° de Latitud Norte y los 112° y 120° de Longitud Oeste. Se realizaron 12 experimentos in situ para estimar la tasa fotosintética así como 10 curvas fotosíntesis-irradiación (P-E) por el método de 14C. En cada estación oceanográfica se realizó la determinación de clorofila (Clo-a) a diferentes profundidades por el método fluorométrico. El registro de temperatura, salinidad y el oxígeno disuelto se realizó mediante un CTD SeaBird y un sensor de oxígeno acoplado al CTD. Mediante el paquete computacional Mathematical Laboratory (Matlab) se obtuvieron los mapas de distribución espacial de temperatura, salinidad, oxígeno y Clo-a. De manera general en la región norte del área, se observaron surgencias costeras, caracterizadas por temperaturas de 11-14°C, baja salinidad, valores de oxígeno de 4.0 a 6.5 mg l⁻¹, con valores de Clo-a de 1-2 mgClo-a m⁻³ en los primeros 50 m, las bajas salinidades (33-33.6) sugieren la intrusión de agua de la CC. En la zona sur se presentaron altas temperaturas (20-22°C), altas salinidades (33.6-34) y bajas concentraciones de Clo-a (0.4-0.8 mgClo-a m⁻³), a excepción de un remolino de baja temperatura con un alto valor de clorofila (3.2 mgClo-a m⁻³). De acuerdo a la distribución vertical de clorofila, ésta tiende a disminuir de costa a océano, presenta bajos valores en la zona norte y se

incrementa hacia el sur del área. El límite de la capa de mezcla (CM) se localizó dentro de la zona eufótica (Zeu), las células fitoplanctónicas en el nivel de 30% de irradiación superficial están fotoaclimatadas a altas irradiancias. La PP integrada en la zona eufótica (PPEu), fue menor a los 100 mgC m⁻², las estaciones costeras fueron las más productivas con valores de PPEu (75-90 mgC m⁻²), mientras que las estaciones oceánicas presentaron bajos valores (35-60 mgC m⁻²).

SE17-3

PRODUCCIÓN PRIMARIA DE LA ZONA COSTERA DEL PACÍFICO TROPICAL MEXICANO

Sosa Ávalos Ramón¹, Olivos Ortiz Aramis¹, Silva Iñiguez Lidia¹, Acosta Chamorro Verónica² y Gaxiola Castro Gilberto³

¹Universidad de Colima

²Instituto Oceanográfico del Pacífico, Secretaría de Marina

³División de Oceanología, CICESE

rsosa@uocol.mx

En 2004 y 2007-2008 se realizaron experimentos con el método de asimilación de carbono catorce en tres estaciones para determinar la producción primaria, concentración de clorofila (Chl a), temperatura y salinidad en las bahías de Manzanillo, Colima. Los muestreos en los dos periodos fueron cada dos meses. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue analizar la variación temporal de las variables mencionadas en los dos periodos de tiempo. La temperatura superficial en el 2004 fue menor en marzo y mayo; 27.3°C y 27.45°C, respectivamente, y más alta en septiembre con 31.05°C. La salinidad superficial fue mayor en mayo (34.22) y disminuyó en septiembre (33.1). Durante 2007-2008 las temperaturas fueron bajas, 21.6°C en febrero y 29.5°C en octubre, mientras que la salinidad fue menor en agosto (31.90) y mayor en febrero (34.33). La concentración menor de la clorofila integrada fue 38 mg m⁻² y 25 mg m⁻² en marzo y octubre de 2004 y 2007, respectivamente, mientras que los valores más altos de 147 mg m⁻² y 120 mg m⁻² se determinaron en mayo de 2004 y abril de 2008. Asimismo, la producción primaria (PP) presentó sus valores más bajos en diciembre de 2004 con ~4 mg C m⁻² h⁻¹ y 90 mg C m⁻² h⁻¹ en febrero de 2008, y la PP más alta fue estimada en 169 mg C m⁻² h⁻¹ y 404 mg C m⁻² h⁻¹ en mayo de 2004 y agosto de 2007, respectivamente. El análisis estadístico no mostró diferencias significativas de las variables entre ambos periodos de tiempo. Los altos valores de Chl a integrada en la zona eufótica fueron observados en primavera en ambos periodos de tiempo, y la Chl a de mayo de 2004 estuvo asociada a un fuerte florecimiento algal que duró más de un mes. La alta PP de mayo de 2004 también ocurrió durante este florecimiento algal, sin embargo, la PP máxima de agosto de 2007 se presentó dos meses después a otro importante florecimiento de fitoplancton. Si bien la PP medida en junio durante este último florecimiento de 2007 fue alta (213 mg C m⁻² h⁻¹), es casi dos veces más baja que la estimada en agosto, posiblemente a diferencias en la concentración de nutrientes y a la comunidad fitoplanctónica, la cual estuvo dominada en los florecimientos algales por dinoflagelados, desapareciendo por completo en agosto.

SE17-4

PROCESOS OCEÁNICOS Y MECANISMOS DE PRODUCCIÓN BIOLÓGICA EN EL CAÑÓN DE CAMPECHE, SUR DEL GOLFO DE MÉXICO

Salas de León David Alberto¹, Monreal Gómez María Adela¹, Signoret Poillon Martha², Aldeco Ramírez Javier¹, Hernández Beceril David Uriel¹, Mojica Ramírez Erika³ y Ramírez Cruz Verónica³

¹Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

²Universidad Autónoma Metropolitana

³Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

salas@mar.icmyl.unam.mx

Los remolinos y frentes creados por balance geostrofico entre corrientes que rotan en sentido contrario son procesos hidrodinámicos que concentran o diluyen plancton y material en suspensión. En el sur del Golfo de México este tipo de procesos incide en la producción biológica. Sobre la región del Cañón de Campeche en el sur del Golfo de México se ha observado un afloramiento en el talud continental, un giro anticiclónico, una corriente ciclónica frente a la plataforma continental y el frente térmico asociado a ellos que se presenta en la frontera común. La mayor abundancia de *Trichodesmium* spp. estuvo asociada al frente mostrando su influencia en la distribución de esta cianobacteria diazotrofa que llega a la región del Cañón de Campeche vía CTSW modificada. El fitoplancton asociado estuvo dominado por especies de diatomeas y dinoflagelados tropicales oceánicos, particularmente especies del género *Ceratium*. La distribución del zooplancton en la región esta condicionada por la forma del cañón y por el giro anticiclónico. Existen tres grupos que conservan características semejantes, condicionados por la forma del cañón y posición del giro. La mayor cantidad de la biomasa zooplanctónica se concentró por arriba de la termoclina, en la región sobre el eje del cañón y en zonas de interacción entre giros. Durante el paso de los nortes, debido a la presencia de los fuertes vientos, la concentración y distribución de la biomasa zooplanctónica se vio afectada mostrando un descenso en la concentración de la biomasa zooplanctónica. Al final de la temporada de nortes se observa un reestablecimiento del espesor de la columna de agua con un ascenso de la termoclina, haloclina y picnoclina, así como, una mayor concentración del zooplancton por arriba de la termoclina. La diversidad

de grupos de zooplancton en el Cañón de Campeche es considerable. Se encontró un número grande de grupos; el de los copépodos fue dominante y compone hasta el 50 % de la población, le siguen en abundancia, los quetognatos y los sifonóforos; el paso de los nortes afecta su número y solo en algunos grupos, como el de las apendicularias y tornarea el número de organismos fue completamente reducido, siendo estos los más afectados por el paso de los nortes.

SE17-5

PRODUCCIÓN FITOPLANCTÓNICA EN LA REGIÓN ADYACENTE A LA ENTRADA DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Lara Lara José Rubén y Álvarez Borrego Saúl
División de Oceanología, CICESE
rlara@cicese.mx

La región adyacente a la entrada del Golfo de California está situada en el área de transición entre aguas templadas y cálidas del Océano Pacífico oriental tropical frente a México, y por lo tanto presenta frentes térmicos y halinos. Los datos de productividad primaria derivados de incubaciones con ¹⁴C (PP14C) para esta área son escasos y proveen únicamente estimaciones puntuales e instantáneas para algunas localidades con valores entre 0.45 gC m⁻² día⁻¹ (una estación ocupada en noviembre de 1968), 0.41 y 1.40 gC m⁻² día⁻¹ (dos estaciones ocupadas en enero de 1981), y 0.17 y 0.42 gC m⁻² día⁻¹ (dos estaciones ocupadas en enero de 1999). Recientemente se reportaron datos de PP14C y concentración de clorofila a (Cla) para la zona costera frente a Cabo Corrientes, con valores máximos de Cla superficial en mayo 2002 (>2mg m⁻³) y con un promedio de PP14C de 0.36 gC m⁻² d⁻¹. En esta zona los valores más altos de PP14C se registraron en junio 2003, con un promedio de 0.44 gC m⁻² d⁻¹, mientras que los valores más bajos se registraron en noviembre 2002, con un promedio de 0.20 gC m⁻² d⁻¹. Por medio de modelos semi-analíticos y valores de Cla y radiación fotosintéticamente activa de imágenes satelitales compuestas mensuales del sensor SeaWiFS (ChlSat y PARsat) se calculó la producción fitoplanctónica (PPmod) para la región frente a Cabo Corrientes, de mayo y noviembre 2002, y junio 2003. Los valores promedios de PPmod tuvieron una variación estacional en la zona costera (1.50 y 0.70 gC m⁻² d⁻¹ para mayo y junio, y 0.38 para noviembre) y fuera de la costa (0.55 y 0.41 gC m⁻² d⁻¹ para mayo y junio, y 0.31 para noviembre). Strictu sensu, no es apropiado comparar PPmod con PP14C, debido a las diferencias en las escalas de espacio y tiempo. Sin embargo, es interesante notar que los datos de PPmod son similares a los valores previamente reportados de PP14C para esta región. En general, podemos resumir que la región de Cabo Corrientes muestra cambios hidrogáficos estacionales fuertes los cuales son reflejados en la biomasa del fitoplancton y en las tasas de producción primaria. Por medio de los datos in situ y satelitales, se identifican tres periodos: uno de surgencia intensa (invierno-primavera), el cual presenta tasas de producción y biomasa de fitoplancton relativamente altas; otro de relajamiento de la surgencia (finales de primavera-principios de verano), cuando se reportaron las tasas máximas de PP; y otro en otoño-verano, con una capa de mezcla profunda y una termoclina fuerte con valores mínimos de Cla y PP. Estos periodos ambientales fueron más evidentes en las estaciones costeras (<60 km de la costa). En general, la biomasa fitoplanctónica y las tasas de producción de las estaciones costeras presentaron valores hasta dos veces mayores que los de las estaciones en aguas oceánicas.

SE17-6

DISTRIBUCIÓN DE HIERRO DISUELTO EN LA REGIÓN CENTRAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO

Segovia Zavala José Antonio¹, Delgadillo Hinojosa Francisco¹, Lares Reyes María Lucila², Tovar Sánchez Antonio³ y Sañudo Wilhelmy Sergio Adolfo⁴

¹Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC

²División de Oceanología, CICESE

³Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados, CSIC-Univ. Islas Baleares

⁴Department of Biological Sciences / Department of Earth Sciences, University of Southern California
jsegovia@uabc.mx

Se reportan los primeros datos de hierro disuelto (Fed) para los 600 m de la columna de agua en la región central del Golfo de California (GC), durante la primavera de 2003 y el verano de 2004. La distribución vertical de Fed en primavera presentó tres patrones: La región norteña con un perfil mixto, con concentraciones de Fed altas en la superficie (5.57 – 7.21 nM), en seguida disminuyen hacia el fondo (1 nM) y luego se incrementan con la profundidad (7nM). La región sureña presentó un perfil tipo nutriente con concentraciones bajas de Fed en la superficie (< 1.0 nM) y luego un aumento con la profundidad (4 nM). La región central (arriba del Umbral de San Esteban) presentó un perfil mezclado, con concentraciones bajas y homogéneas (0.07-0.59 nM) desde la superficie hasta aguas subsuperficiales (200 m), y después un incremento en el fondo (5.08 nM). Para el verano sólo se presentan perfiles mixtos con concentraciones más altas a nivel superficial (5.70 – 12.92 nM). Después del enriquecimiento, los perfiles tienen un comportamiento tipo nutriente, aumentando con la profundidad (~ 33 nM). En ambos periodos y en la región norte, el máximo superficial de Fed se explica por los aportes atmosféricos de Fe y por la advección superficial del agua del Golfo de California.

Las concentraciones bajas de Fed superficial y el incremento con la profundidad fueron asociadas a la biomasa fitoplanctónica y a la mineralización de la materia orgánica. Lo anterior sugiere que el Fed esta asociado al proceso de fotosíntesis y la remineralización de la materia orgánica. En ambos muestreos se detectó la ZMO (400 – 600 m) con concentraciones altas de Fed (4.19 nM; primavera y 4.03 nM; verano).

Las condiciones ecológicas óptimas para el crecimiento de organismos fijadores de nitrógeno se encontraron en verano y se reflejaron en la relación N:P, el parámetro desnitrificante N*, la limitación de NO₃, la temperatura y la profundidad de la capa de mezcla. Un balance de masas del Fed en la región de estudio indicó que el 61 % de éste (11 ± 1.7 ton d⁻¹) fue aportado por la advección del AGCn, el 36 % (6.6 ± 2.6 ton d⁻¹) por la advección vertical del ASsSt, y un 3 % (0.45 ± 0.47 ton d⁻¹) por el aporte atmosférico. Las salidas del sistema fueron: la advección al sur del AGCs con un 34 % (6.2 ± 0.7 ton d⁻¹) y la remoción con el 66 % (11.8 ± 4.8 ton d⁻¹). Estos resultados sugieren que la remoción es un mecanismo importante para la biogeoquímica del Fe en la región de las grandes islas del GC. En conclusión los perfiles Fed en GC son generados por un complicado balance entre la entrada atmosférica superficial, advección de agua del norte con Fed enriquecido, la captación biológica, la remoción-remineralización de partículas in situ, el transporte y la mezcla vertical.

SE17-7

RESPUESTA DE LOS FORAMINIFEROS PLANCTÓNICOS A CAMBIOS ESTACIONALES DEL PERIODO FEBRERO-JULIO DE 2006 EN EL NOROESTE DEL GOLFO DE TEHUANTEPEC

Nava Fernández Xinantecatl Antonio¹ y Machain Castillo María Luisa²

¹Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

²Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

xinantecatlnava85@yahoo.com.mx

Se analizó la respuesta de los foraminíferos planctónicos a la dinámica oceanográfica del Golfo de Tehuantepec, en el periodo comprendido del 04 de febrero al 08 de julio de 2006. Durante los meses de invierno y primavera, se presentan surgencias, que reducen la temperatura superficial (22° C) e incrementan la productividad en el área (3.66 mg/m³ de clorofila a, del 04 de febrero al 27 de mayo); mientras que, durante los meses de verano, la hidrografía es dominada por la presencia de aguas estratificadas, con altas temperaturas superficiales (29.5° C) y baja productividad (0.5 mg/m³ de clorofila a, del 28 de mayo al 08 de julio). Los resultados de los foraminíferos planctónicos recolectados mediante dos trampas de sedimento, colocadas al Noroeste del Golfo de Tehuantepec indican la presencia de tres especies, que contribuyen con el 80% de la abundancia relativa de la comunidad: Globigerina bulloides, Globorotalia menardii y Globigerinita gutinata. El análisis de factores sugiere la presencia de dos asociaciones: la asociación G. bulloides, que es representativa al final del invierno y mediados de primavera (04 de febrero al 27 de mayo), asociada a condiciones de surgencia, y la asociación G. menardii y G. glutinata, a finales de primavera e inicios de verano (28 de mayo al 08 de julio), asociada a la presencia de aguas estratificadas. La abundancia de foraminíferos fue alta (4684 individuos/l) del 04 de febrero al 29 de abril, como respuesta a las altas concentraciones superficiales de clorofila a (4.68 mg/m³); mientras que la productividad disminuye (2016 individuos/l) del 30 de abril al 08 de julio debido a la presencia de aguas estratificadas y con bajas concentraciones de clorofila a (0.63 mg/m³). Asimismo, el patrón de diversidad específica (baja a finales de invierno y mediados de primavera y alta a finales de primavera e inicios de verano), sugiere que los eventos de surgencia, generan condiciones de estrés ambiental, que ocasionan la baja de diversidad específica y cuando las surgencias no operan, las condiciones de calma y estratificación de la columna de agua permiten que la diversidad aumente.

SE17-8

PRODUCCIÓN FITOPLANCTÓNICA NUEVA Y ÓPALO BIOGÉNICO DEPOSITADO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA COMO HERRAMIENTAS PARA ESTIMAR EL INTERCAMBIO DE AGUA ENTRE EL PACÍFICO Y EL GOLFO

Álvarez Borrego Saúl
División de Oceanología, CICESE
alvarezb@cicese.mx

El Golfo de California gana calor a pesar de la evaporación. Se ha reportado que, para exportar este calor al Pacífico, agua superficial (0-200 m) más caliente y menos densa fluye del golfo hacia el Pacífico. Para compensar este flujo de agua, existe un flujo a profundidades intermedias (200-600 m) del Pacífico hacia el golfo. Los nutrientes (NO₃, PO₄, SiO₂), el CO₂ y los metales traza que se comportan como nutrientes aumentan con la profundidad, por lo que este intercambio de agua implica un aporte neto de estos materiales del Pacífico al golfo, y este es el mecanismo natural de fertilización más importante del golfo. En la literatura existe un rango muy amplio de valores de este intercambio de agua, estimados por métodos físicos, desde 0.45 Sv hasta 12 Sv. Utilizando la producción fitoplanctónica nueva promedio anual (PPnueva) para todo el golfo y el balance de nitrógeno en forma de nitratos como una herramienta independiente para estimar este intercambio, resultó un valor promedio de 0.74 Sv en cada capa. Sin embargo, otra herramienta biogeoquímica

independiente es el balance del silicio en el golfo. Con datos de la literatura se estimó la cantidad total de silicio que se deposita en promedio cada año en forma de ópalo biogénico en los sedimentos del golfo (7.66 megatons Si año⁻¹). El aporte por los ríos era despreciable aún antes de la primera presa (Hoover inaugurada en 1935) y se estimó en 0.55 megatons año⁻¹, sólo ~7% del que se deposita, y ahora es mucho menor, por lo que fundamentalmente el silicio depositado debe ser balanceado por el aporte del Pacífico al golfo, de una manera similar al balance del nitrógeno. El modelo de dos capas sobrestima grandemente el aporte neto de Si del Pacífico al golfo (21.8 megatons Si año⁻¹). Por lo anterior se utilizó un modelo de tres capas. Adicionalmente a las dos primeras se agregó una capa con agua saliendo del golfo al Pacífico en 600-1200 m. Se utilizó un sistema de tres ecuaciones lineales tomando como incógnitas los flujos en las tres capas (diferentes entre sí). Una ecuación es la que balancea el aporte neto de nitrógeno en forma de nitrato con la PPnueva, otra balancea el aporte neto de Si con el depósito de ópalo biogénico, y la tercera es la del balance de agua. Para aplicar la primera ecuación se hizo una revisión de la literatura sobre los parámetros utilizados para el cálculo de PPnueva y se encontró una sobrestimación de la misma en un ~20% por lo que se aplicó una corrección. El resultado fue un flujo promedio de 0.71 Sv en 0-200 m hacia fuera del golfo, un flujo de 0.99 Sv en 200-600 m hacia adentro, y un flujo de 0.28 Sv en 600-1200 m hacia fuera. Además, con estos flujos y datos de bióxido de carbono inorgánico disuelto se estimó que el golfo es una fuente de CO₂ hacia la atmósfera con un aporte anual promedio de 23.5 megatoneladas.