

**Universidad Autónoma de Baja California**  
 Coordinación General de Investigación y Posgrado



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**COORDINACIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**PROGRAMA DE UNIDAD DE APRENDIZAJE**

**Datos de identificación**

Unidad académica: Facultad de Ciencias Marinas e Instituto de Investigaciones Oceanológicas

Programa: Maestría en Ciencias en Oceanografía Costera

Plan de estudios: 2021-1

Nombre de la unidad de aprendizaje: Oceanografía Costera: Química

Clave de la unidad de aprendizaje:

Tipo de unidad de aprendizaje: Obligatoria

Horas clase (HC):

2

Horas prácticas de campo (HPC):

0

Horas taller (HT):

1

Horas clínicas (HCL):

0

Horas laboratorio (HL):

0

Horas extra clase (HE):

2

Créditos (CR): 5

Requisitos:

**Perfil de egreso del programa**

El egresado del Programa de Maestría en Ciencias en Oceanografía Costera, tendrá una formación que le permita desarrollar una alta capacidad técnica y metodológica para la práctica de la investigación en las ciencias del mar. Su formación le permitirá contribuir a la solución de problemas específicos, al desarrollo científico y a la protección del medio ambiente marino. El egresado del Programa de Maestría en Ciencias en Oceanografía Costera será capaz de:

Analizar el comportamiento de las condiciones oceanográficas y climatológicas, mediante la aplicación profesional del método científico incluyendo el trabajo multidisciplinario y su análisis crítico, para el desarrollo y la difusión del conocimiento que contribuya a la implementación de estrategias adecuadas a las condiciones regionales y globales para el aprovechamiento y protección de la zona costera, con honestidad, responsabilidad social y respeto al medio ambiente.

Analizar los efectos de las variaciones físicas y climatológicas en las variables químico-biológicas que ocurren en la zona costera, mediante la comprensión de conceptos y la aplicación multidisciplinaria de metodologías y técnicas de análisis biogeoquímicos, para proponer acciones integrales de mitigación que permitan la protección y uso sostenible de los recursos naturales marinos, con una actitud propositiva e innovadora y de responsabilidad social y respeto al medio ambiente.

Analizar los componentes biológicos de un ecosistema, su relación y adaptación a las variables fisicoquímicas del ambiente y sus variaciones antrópicas, mediante la participación en equipos multidisciplinarios y el uso de herramientas biotecnológicas, para contribuir al desarrollo de medidas de conservación y manejo de los recursos marinos fundamentadas en el valor de los servicios ambientales que brindan a los ecosistemas, con una actitud propositiva e innovadora y de responsabilidad social y respeto al medio ambiente.

**Definiciones generales de la unidad de aprendizaje**

**Propósito general de esta unidad de aprendizaje:**

Esta unidad de aprendizaje de Oceanografía Costera: Química tiene el propósito de analizar los efectos de las variaciones físicas y climatológicas en las variables químico-biológicas que ocurren en el océano, mediante la comprensión de conceptos y la aplicación multidisciplinaria de metodologías y técnicas de análisis biogeoquímicos, para proponer acciones integrales de mitigación que permitan la protección y uso sostenible de los recursos naturales marinos, con una actitud propositiva y respeto al ambiente. Es una unidad de aprendizaje para la Maestría en Oceanografía Costera que ofrece las bases generales de la oceanografía química con énfasis en los procesos costeros.

**Universidad Autónoma de Baja California**  
 Coordinación General de Investigación y Posgrado

<b>Competencia de la unidad de aprendizaje:</b>	Analizar las variaciones espacio-temporales de propiedades químicas (carbono, nitrógeno, fósforo, silicio y algunos metales traza), sus efecto en los organismos marinos y su relación con procesos físicos y geoquímicos, mediante la investigación de casos de estudio, para apoyar a la comprensión de sus patrones de distribución en ecosistemas costeros, con actitud propositiva y respeto al ambiente.
<b>Evidencia de aprendizaje (desempeño o producto a evaluar) de la unidad de aprendizaje:</b>	Portafolio de evidencias: (a) Dos reportes individuales de ejercicios de cálculo de las especies químicas del sistema del CO <sub>2</sub> con el programa CO2sys. (b) Dos reportes de cálculos y un reporte argumentativo final sobre la aplicación de un modelo matemático de balances de nutrientes en un ecosistema costero. Los reportes se realizan por equipo con base en una rúbrica. (c) Un ensayo temático individual, basado en rúbrica, sobre la lectura de un artículo científico relacionado con alguno de temas cubiertos en la unidad de aprendizaje.

<b>Temario</b>	
<b>I. Nombre de la unidad:</b> Definición, características e importancia de la zona costera	<b>Horas: 3</b>
<b>Competencia de la unidad:</b> Analizar la clasificación de la zona costera, mediante referentes teóricos, para ponderar la importancia científica y socioeconómica de la zona costera, con una actitud propositiva y de responsabilidad social.	
<b>Tema y subtemas:</b>	
1.1. Definición de la Zona Costera	
1.2. Características e importancia de la Zona Costera	
<b>Prácticas (taller, laboratorio, clínicas, campo):</b>	<b>Horas:</b>

<b>II. Nombre de la unidad:</b> Propiedades y composición del agua de mar	<b>Horas: 3</b>
<b>Competencia de la unidad:</b> Identificar los aspectos básicos del ciclo hidrológico y la composición química que determina la salinidad del agua de mar, mediante estudios de caso, para comprender y determinar las fuentes y sumideros de sustancias disueltas no conservativas en las aguas costeras con una actitud propositiva y de respeto al ambiente.	
<b>Tema y subtemas:</b>	
2.1. Propiedades y estructura del agua pura	
2.2. Propiedades fisicoquímicas del agua de mar	
2.3. Clasificación de los componentes químicos en el agua de mar	
2.4. Constituyentes mayores (conservativos)	
<b>Prácticas (taller, laboratorio, clínicas, campo):</b>	<b>Horas:</b>

<b>III. Nombre de la unidad:</b> Ciclo del carbono, pH y alcalinidad	<b>Horas: 6</b>
<b>Competencia de la unidad:</b> Describir el ciclo del carbono, con énfasis en el sistema del CO <sub>2</sub> , y sus implicaciones en el cambio climático, mediante la revisión de conceptos básicos de los parámetros que describen el sistema del carbono y la investigación casos de estudio, para comprender la importancia de la acidificación oceánica y los flujos de carbono con una actitud propositiva y de responsabilidad social.	
<b>Tema y subtemas:</b>	
3.1. Ciclo global del carbono orgánico marino	
3.1.1. Cantidad y producción	

- 3.2.** El sistema de carbonatos en el agua de mar
  - 3.2.1.** Concepto de pH y alcalinidad
  - 3.2.2.** Equilibrio químico y cálculos del sistema de carbonatos marinos
- 3.3.** Intemperismo químico y el sistema del CO<sub>2</sub>
- 3.4.** Ciclo global del CO<sub>2</sub> y el “Efecto de Invernadero”
  - 3.4.1.** Ciclo global del CO<sub>2</sub>
  - 3.4.2.** Efecto de invernadero y el calentamiento global
  - 3.4.3.** “Absorción” oceánica del CO<sub>2</sub> antropogénico
- 3.5.** Proceso de acidificación del océano

<b>Prácticas (taller):</b>	<b>Horas: 6</b>
1. Utilización del programa CO2sys: 1) Calcular las diferentes especies del carbono en el agua de mar bajo diferentes escenarios de presión parcial del CO <sub>2</sub> atmosférico; 2) Evaluar los cambios de las especies del carbono debido a procesos de fotosíntesis, respiración, precipitación y disolución de carbonatos.	

<b>IV. Nombre de la unidad:</b> Producción y descomposición de la materia orgánica	<b>Horas: 6</b>
<b>Competencia de la unidad:</b> Identificar los procesos de producción y descomposición de la materia orgánica en el ambiente marino, a través del modelo de Redfield, para establecer las bases para la comprensión y explicación de los ciclos biogeoquímicos de los elementos carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo y de los metales bioactivos en la zona costera y el océano global, con un sentido propositivo y respetuoso del ambiente.	
<b>Tema y subtemas:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>4.1.</b> Producción de la materia orgánica en el océano           <ul style="list-style-type: none"> <li><b>4.1.1.</b> Composición de la materia orgánica. Métodos de medición de la fotosíntesis</li> <li><b>4.1.2.</b> Variabilidad espacial y escalas de variación temporal de la fotosíntesis</li> <li><b>4.1.3.</b> Componentes de la materia orgánica particulada. Mecanismos de agregación de la nieve marina</li> <li><b>4.1.4.</b> La bomba biológica. Métodos de cuantificación de la bomba biológica: Flujos de exportación</li> </ul> </li> <li><b>4.2.</b> Descomposición de la materia orgánica en el océano           <ul style="list-style-type: none"> <li><b>4.2.1.</b> Factores que controlan la distribución vertical del oxígeno (segregación vertical)               <ul style="list-style-type: none"> <li><b>4.2.2.</b> Equilibrio con la atmósfera. Producción y descomposición de la materia orgánica. Circulación termohalina</li> <li><b>4.2.3.</b> Las zonas del mínimo de oxígeno en los océanos del mundo</li> </ul> </li> </ul> </li> <li><b>4.3.</b> Flujo de partículas y la segregación vertical de los elementos nutrientes (nitrógeno y fósforo)           <ul style="list-style-type: none"> <li><b>4.3.1.</b> Importancia del nitrógeno y del fósforo en el ambiente marino</li> <li><b>4.3.2.</b> Composición CNP de la nieve marina. Concentración superficial de N y P en los océanos del mundo</li> <li><b>4.3.3.</b> Distribución vertical de los nutrientes en los océanos del mundo. Relación N:P</li> </ul> </li> <li><b>4.4.</b> Modelo de descomposición y producción de la materia orgánica (Modelo de Redfield)           <ul style="list-style-type: none"> <li><b>4.4.2.</b> Suposiciones del modelo de Redfield</li> </ul> </li> </ul>	

<p><b>4.4.3.</b> Excepciones al modelo de Redfield</p> <p><b>4.4.3.</b> Diagénesis de la materia orgánica</p> <p><b>4.5.</b> Los ciclos biogeoquímicos globales del nitrógeno y del fósforo</p> <p><b>4.6.</b> Procesos que controlan la concentraciones y la movilidad de los metales traza en el océano</p> <p style="padding-left: 20px;"><b>4.6.1.</b> Importancia de los metales traza en el ambiente marino</p> <p style="padding-left: 20px;"><b>4.6.2.</b> Primeros avances: Métodos analíticos y técnicas de ultralimpieza</p> <p><b>4.7.</b> La gran conspiración de las partículas</p> <p style="padding-left: 20px;"><b>4.7.1.</b> Adsorción y precipitación de los metales bajo condiciones óxicas</p> <p style="padding-left: 20px;"><b>4.7.2.</b> Incorporación de los metales en el material biogénico</p> <p style="padding-left: 20px;"><b>4.7.3.</b> Adsorción y precipitación bajo condiciones anóxicas</p> <p><b>4.8.</b> Principales fuentes de metales al océano</p> <p><b>4.9.</b> Tipos de distribución vertical de los metales traza en el océano</p> <p><b>4.10.</b> La conducta del hierro (Fe) y el cambio climático global</p>	
<b>Prácticas (taller, laboratorio, clínicas, campo):</b>	<b>Horas:</b>

<b>V. Nombre de la unidad:</b> Química de nutrientes en ecosistemas costeros	<b>Horas: 11</b>
<b>Competencia de la unidad:</b> Conocer los ciclos del nitrógeno, fósforo y silicio en el océano global, con énfasis en los ecosistemas costeros y el papel del hombre en la alteración de estos ciclos, mediante la realización e interpretación de cálculos de balances de nutrientes a través de modelos de cajas, para apoyar a la comprensión de sus patrones de distribución espacial y temporal, con una actitud propositiva y de respeto al ambiente.	
<b>Tema y subtemas:</b>	
<p><b>5.1.</b> Comportamiento de sustancias disueltas durante la mezcla estuarina</p> <p style="padding-left: 20px;"><b>5.1.1.</b> Clasificación de estuarios y lagunas costeras</p> <p style="padding-left: 20px;"><b>5.1.2.</b> Comportamiento conservativo y no-conservativo durante la mezcla estuarina</p> <p><b>5.2.</b> Ciclo de Nutrientes en estuarios y lagunas costeras</p> <p style="padding-left: 20px;"><b>5.2.1.</b> Ciclo del Si</p> <p style="padding-left: 20px;"><b>5.2.2.</b> Ciclo del P</p> <p style="padding-left: 20px;"><b>5.2.3.</b> Ciclo del N</p>	
<b>Prácticas (taller):</b>	<b>Horas: 10</b>
<p>1. Taller del Modelo de LOICZ: Se realizan cálculos de balances de nutrientes en una laguna costera, aplicando el modelo matemático propuesto por el Proyecto de Interacciones Tierra-Océano en la Zona Costera (LOICZ por sus siglas en inglés). Los cálculos del Modelo de LOICZ y la interpretación de los resultados se realizan por equipo en tres sesiones.</p> <p>Sesión 1: Balances de agua y sal, cuyos resultados se presentan en un reporte de datos y cálculos.</p>	

**Universidad Autónoma de Baja California**  
 Coordinación General de Investigación y Posgrado

Sesión 2: Balances de nitrógeno y fósforo, cuyos resultados se presentan en un reporte de datos y cálculos.	
Sesión 3: Interpretación y discusión de resultados, que se presentan en un reporte argumentativo con formato de publicación científica, donde se integran los resultados de las sesiones 1 y 2.	

<b>VI. Nombre de la unidad:</b> Eutrofización costera	<b>Horas:</b> 3
---	-----------------

**Competencia de la unidad:** Describir las causas y consecuencias del aumento en la descarga de nutrientes hacia la zona costera reflejadas en el proceso de eutrofización, mediante el análisis de casos de estudio, para apoyar a la comprensión de los patrones de la eutrofización en ecosistemas costeros, con una actitud propositiva y de respeto al medio ambiente.

**Tema y subtemas:**

- 6.1. Eutrofización costera**
- 6.1.1.** Definición, causas y efectos de la eutrofización costera
  - 6.1.2.** Casos de estudio de la eutrofización costera

<b>Prácticas (taller, laboratorio, clínicas, campo):</b>	<b>Horas:</b>
--	---------------

**Estrategias de aprendizaje utilizadas:**

Presentaciones en PowerPoint en las que, dado el carácter obligatorio de la Unidad de Aprendizaje, los alumnos conocen ejemplos prácticos de la relación de la química marina con otras áreas temáticas de nuestro posgrado. Lecturas obligatorias y tareas extra clase que permiten consolidar algunos conocimientos.

En las sesiones de taller los estudiantes se familiarizan con el uso del programa CO2sys para el cálculo de la concentración de las especies del sistema del CO<sub>2</sub> utilizando varios ejemplos.

En las sesiones de taller, los estudiantes aprenden a través de la realización de cálculos matemáticos, conceptos básicos de modelación biogeoquímica. Las sesiones del taller son secuenciales, de tal manera que el grado de dificultad en los conceptos/cálculos aumenta sesión a sesión. Para el reporte final, los estudiantes deben integrar los conocimientos adquiridos en el taller con información teórica aprendida durante las clases de los ciclos de los nutrientes.

Desde el inicio de la Unidad de Aprendizaje a cada estudiante se le asigna la lectura de un artículo científico en el campo de la biogeoquímica marina para la elaboración de un ensayo temático, que para obtener retroalimentación del profesor, presenta por lo menos dos semanas antes de la fecha de la entrega final.

**Criterios de evaluación:**

Exámenes: 70%

Reportes argumentativos de sesiones de taller: 20%

Ensayo temático basado en rúbrica: 10%

Total: 100%

**Criterios de acreditación:**

- El estudiante debe cumplir con lo estipulado en el Estatuto Escolar vigente u otra normatividad aplicable.
- Calificación en escala de 0 al 100, con un mínimo aprobatorio de 70.

**Bibliografía:**

Libros:  
 Capone, D.G., Bronk, D.A., Mulholland, M.R. & Carpenter, E.J. (2008). *Nitrogen in the Marine Environment* (2a.

ed.). Amsterdam: Elsevier. [clásico]

Chester, R. & Jickells, T.D. (2012). *Marine Geochemistry* (3a. ed.). New Jersey: Wiley-Blackwell. [clásico]

Hernández-de-la-Torre, B. & Gaxiola-Castro, G. (2007). *Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México*. México: Instituto Nacional de Ecología – CICESE. [clásico]

Libes, S.M. (2009). *An introduction to marine biogeochemistry* (2a. ed.). Burlington: Academic Press. [clásico]

Millero, F.J. (2013). *Chemical Oceanography* (4a. ed.). Boca Raton: Taylor and Francis. [clásico]

Reportes y artículos:

Gilly, W.F. et al. (2013). Oceanographic and biological effects of shoaling of the oxygen minimum zone. *Annual Review of Marine Science*, 5, 393–420. [clásico]

Gordon, D.C Jr., Boudreau, P.R., Mann, K.H., Ong, J.E., Silvert, W.L., Smith, S.V., Wattayakorn, G., Wulff, F. & Yanagi, T. (1996). LOICZ biogeochemical modeling guidelines. *LOICZ Reports & Studies* (vol. 5). Netherlands: LOICZ. [clásico]

IGBP. (2005). Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone. Science Plan and implementation strategy. En H. H. Kremer et al. (eds.), *IGBP Global Change Report* (No. 51, pp. 5-15). Stockholm: International Geosphere-Biosphere Program. [clásico]

Zhang, X., Ward, B.B. & Sigman, D.M. (2020). Global nitrogen cycle: critical enzymes, organisms, and processes for nitrogen budgets and dynamics. *Chemical Reviews*, 120, 11. doi: 10.1021/acs.chemrev.9b00613.

Lecturas para ensayos temáticos:

(Nota: esta lista se actualiza cuando surge alguna nueva publicación o tema que se considere relevante para complementar la Unidad de Aprendizaje)

Tema: Nutrientes y eutrofización

Bentzon-Tilia, M., Traving, S.J., Mantikci, M., Knudsen-Leerbeck, H. et al. (2015). Significant N<sub>2</sub> fixation by heterotrophs, photoheterotrophs and heterocystous cyanobacteria in two temperate estuaries. *The ISME Journal*, 9, 273-285.

Derolez, V. et al. (2019). Recovery trajectories following the reduction of urban nutrient inputs along the eutrophication gradient in French mediterranean lagoons. *Ocean and Coastal Management*, 171, 1-10.

Dien, L.D., Hiep, L.H., Hao, N.V., Sammut, J. & Burford, M.A. (2018). Comparing nutrient budgets in integrated rice-shrimp ponds and shrimp grow-out ponds. *Aquaculture*, 484, 250-258.

Duarte, C.M. et al. (2009). Return to Neverland: shifting baselines affect eutrophication restoration targets. *Estuaries and Coasts*, 32,29–369. [clásico]

Geyer, N., Huettel, M. & Wetz, M. (2018). Biogeochemistry of a river-dominated estuary influenced by drought and storms. *Estuaries and Coasts*, 41, 2009-2023.

Heiss, E. & Fulweiler, R.W. (2017). Coastal water column ammonium and nitrite oxidation are decoupled in summer. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 193, 37-45.

Tema: Sistema del CO<sub>2</sub>.

Ávila-López, M. C., Hernández-Ayón, J.M., Camacho-Ibar, V.F., Sandoval-Gil, J.M., Mejía-Trejo, A. & Pacheco-Ruiz, I. (2017). Air-water CO<sub>2</sub> fluxes and net ecosystem production changes in a Baja California Coastal Lagoon during the anomalous North Pacific warm condition. *Estuaries and Coasts*, 40,792-806.

Cai, W., Xu Y., Feely, R.A. et al. (2020). Controls on surface water carbonate chemistry along North American ocean margins. *Nature Communications*, 11, 2691. doi.org/10.1038/s41467-020-16530-z.

Duarte, C. et al. (2013). Is Ocean acidification an open-ocean syndrome? Understanding anthropogenic impacts on seawater pH. *Estuaries and Coasts*, 36, 221–236. [clásico]

Fennel, K. et al. (2019). Carbon cycling in the North American coastal ocean: a synthesis, *Biogeosciences*, 16, 1281-1304, doi: 10.5194/bg-16-1281-2019.

Tilbrook, B. et al. (2019). An enhanced ocean acidification observing network: from people to technology to data synthesis and information exchange. *Frontiers in Marine Science*, 6, 337. doi: 10.3389/fmars.2019.00337.

Yao, H., McCutcheon M.R., Staryk, C.J., Hu, X. (2020). Hydrologic controls on CO<sub>2</sub> chemistry and flux in subtropical lagoonal estuaries of the northwestern Gulf of Mexico. *Limnology and Oceanography*, 65 (6), 1380-1398.

Zhao, Y., Liu, J., Uthaipan, K., Song, X., Xu, Y., He, B., Liu, H., Gan, J., Dai, M. (2020). Dynamics of inorganic carbon and pH in a large subtropical continental shelf system: Interaction between eutrophication, hypoxia, and ocean acidification. *Limnology and Oceanography*, 65 (6), 1359-1379.

Tema: Hipoxia

Breitburg, D., Levin, L. A., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F. P., Conley, D. J. et al. (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359 (6371), 1-12.

Le Moigne, F.A.C. (2019). Pathways of organic carbon downward transport by the oceanic biological carbon pump. *Frontiers in Marine Science*, 6,634. doi:10.3389/fmars.2019.00634

Levin, L.A. (2018). Manifestation, drivers, and emergence of open ocean deoxygenation. *Annual Reviews in Marine Science*, 10, 229-260.

Limburg, K. E., Breitburg, D., Swaney, D. P. & Jacinto, G. (2020). Ocean Deoxygenation: A Primer. *One Earth*, 2(1), 24-29.

**Fecha de elaboración / actualización:** Agosto, 2020.

**Perfil del profesor:** Grado de doctorado con experiencia mínima de un año en investigación en el campo de la Biogeoquímica Marina y Oceanografía Química.

Nombre(s) y firma(s) de quién(es) diseñó(arón) el Programa de Unidad de Aprendizaje:

Dr. Víctor Froylán Camacho Ibar  
Investigador de Tiempo Completo  
IIO, CA de Geociencias Ambientales

Dr. Francisco Delgadillo Hinojosa  
Investigador de Tiempo Completo  
IIO, CA de Oceanografía química, biogeoquímica y contaminación del medio ambiente marino

Dr. José Martín Hernández Ayón  
Investigador de Tiempo Completo  
IIO, CA de Oceanografía química, biogeoquímica y contaminación del medio ambiente marino

**Universidad Autónoma de Baja California**  
Coordinación General de Investigación y Posgrado

Nombre y firma de quién autorizó el Programa de Unidad de Aprendizaje:

Dra. Lus Mercedes López Acuña  
Directora de la Facultad de Ciencias Marinas  
Profesor de Tiempo Completo  
FCM, CA de Biotecnología Acuícola Animal

Dr. Alejandro Cabello Pasini  
Director del Instituto de Investigaciones Oceanológicas  
Investigador de Tiempo Completo  
IIO, CA de Botánica Marina

Nombre(s) y firma(s) de quién(es) evaluó/revisó(evaluaron/ revisaron) de manera colegiada el Programa de Unidad de Aprendizaje:

Dr. Miguel Ángel Huerta Díaz  
Investigador de Tiempo Completo  
IIO, CA de Oceanografía Química, Biogeoquímica y Contaminación del Medio Ambiente Marino

Dr. Vinicio Macías Zamora  
Investigador de Tiempo Completo  
IIO, CA de Química Ambiental, Contaminación y Toxicología