



Fishes and their larvae in the California current in relation to variability climate

Vanessa Izquierdo Peña, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario en Ciencias Marinas – CICIMAR

Francisco Chavez

Summer 2014

Keywords: sardine, anchovy, California halibut, larvae, climate, regime shift

ABSTRACT

Los cambios en el ambiente repercuten en la abundancia y distribución de los peces en diferentes escalas de tiempo, ya que estos modulan su tasa de supervivencia, crecimiento, reproducción y migración. Se ha documentado el efecto del ambiente en escalas de tiempo de baja frecuencia, pero a nivel de régimen es poco lo que se conoce. Por este motivo, el estudio de la distribución y abundancia de los peces y sus larvas, junto con las variables ambientales, es esencial en el entendimiento las fluctuaciones poblacionales y el funcionamiento del ecosistema pelágico. El objetivo de nuestro trabajo fue evaluar la respuesta temporal y espacial de las variaciones climáticas a gran escala en adultos y larvas de *Sardinops sagax*, *Engraulis mordax* y *Paralichthys californicus* en la Corriente de California. Se analizaron los datos de capturas comerciales para dos zonas de la Corriente (USA y México) desde 1926-2013 y se compararon con los datos de sardina de Japon y anchoveta de Humboldt. Los datos de larvas fueron obtenidos de la base CalCOFI e IMECOCAL para los periodos 1951-1984 y 1997-2002. Posteriormente los datos de capturas y abundancia de larvas, se compararon con los índices PDO y NPI aplicando la hipótesis de la doble integración. Los resultados obtenidos indican que en las últimas

décadas las capturas de sardina de Japón y California no varían de forma sincrónica, como se había documentado anteriormente. Además observamos un aparente retraso en la señal del régimen la cual es evidente en las poblaciones de sardina y anchoveta frente a México. Encontramos una correlación significativa entre los datos de capturas y la abundancia de larvas de sardina y anchoveta con el PDO integrado a 20 años, lo cual podría estar indicando que no solo los adultos sino también las larvas de estos pelágicos responden a variaciones de largo plazo.

INTRODUCTION

Existe un acople entre los fenómenos océano-atmósfera que conducen cambios en el clima año a año y década a década. Se ha demostrado que las fluctuaciones en la temperatura del aire y el océano, la circulación atmosférica, el dióxido de carbono presentan la misma fase y duración que los registros biológicos, por lo que se ha sugerido que un cambio climático podría ser descrito con base en la dinámica de los organismos marinos presentes en una localidad. En este sentido, resultados de numerosas investigaciones han concluido que las fluctuaciones climáticas tienen un profundo impacto en la distribución geográfica, abundancia y fenología de especies (Stenseth *et al.* 2002, Menzel *et al.* 2006), razón por la cual los estudios de los efectos climáticos sobre las poblaciones marinas están ganando cada vez más atención, ya que la comprensión de estos efectos es un paso esencial en el manejo integral de los recursos marinos.

Para los peces, los cambios en el ambiente repercuten en su abundancia y distribución debido a que son las condiciones ambientales las que modulan su tasa de supervivencia, crecimiento, reproducción y migración (Hsieh *et al.* 2009). Además, la fase planctónica de estos organismos es particularmente sensible a los cambios ambientales y se considera como el estadio más crítico en el éxito del reclutamiento de los peces (Hjört, 1914, Mann 1993, Myers 1998, Portner & Peck 2010). Por este motivo, el estudio de la distribución y abundancia de los peces y sus larvas, junto con las variables ambientales y los procesos que determinan su supervivencia y distribución, es esencial en el entendimiento no sólo

de las fluctuaciones poblacionales en peces, sino en el funcionamiento general del ecosistema pelágico (Ottersen *et al.*, 2010).

En la Corriente de California ocurren cambios climáticos que generan una alta variabilidad en diversas escalas de espacio y tiempo. Estas fluctuaciones influyen fuertemente en la disponibilidad de los recursos pesqueros. Dentro de estos fenómenos climáticos se destaca la variación interanual relacionada con los eventos del El Niño-La Niña, con escalas de tiempo que van de tres a cinco años; las fluctuaciones multidecadales no son tan intensas como El Niño pero las condiciones oceánicas son calientes o frías por periodos de 20-50 años (i.e. PDO). Finalmente tenemos las variaciones a largo plazo cuando las condiciones cambian en periodos de 50 años, estas son conocidas como Cambio de Régimen (Mantua *et al.* 1997, Salvadeo *et al.* 2011).

El régimen mejor documentado en el Pacífico Norte ocurrió a mediados de la década de 1970 y su impacto biológico tuvo efectos sobre la productividad primaria (Roemmich & McGowan 1995), así como en la biomasa y distribución de las poblaciones de sardinas y anchovetas (Lluch-Belda *et al.* 1989). En el Pacífico ocurrieron cambios relacionados con periodos fríos conocidos como el “Régimen de la anchoveta” y los periodos cálidos como el “Régimen de la sardina” (Chavez *et al.* 2003). Espino & Yamashiro (2012) sugieren que las manifestaciones de los patrones de variabilidad ambiental producen cambios severos en los stocks y sus pesquerías, haciendo que aumenten, se reduzcan o desaparezcan, mientras que otros aparecen como “nuevos” recursos o aumentan sus poblaciones permitiendo el desarrollo de pesquerías diferentes. En este contexto el objetivo de nuestro trabajo fue evaluar la respuesta temporal y espacial de las variaciones climáticas a gran escala en adultos y larvas de *Sardinops sagax*, *Engraulis mordax* y *Paralichthys californicus* en la Corriente de California.

MATERIALS AND METHODS

SELECCIÓN DE ESPECIES

Se seleccionaron las especies de *Sardinops sagax* y *Engraulis mordax* con base en trabajos previos (Lluch-Belda *et al.* 1989, 1992, Schwartzlose *et al.* 1999, Chávez *et al.* 2003, Takasuka *et al.* 2008) en donde se sugiere que los adultos de estas especies responden al cambio de régimen.

En cuanto a las larvas los estudios en la Corriente de California han permitido tener un conocimiento general de la composición de especies, distribución y sus variaciones en el modo estacional (Aceves-Medina 2003, Avendaño-Ibarra *et al.* 2010) e interanual El Niño- La Niña (Funes-Rodríguez *et al.* 1995, 2006, 2011). Sin embargo han sido poco los estudios relacionados con el efecto de los cambios climáticos de baja frecuencia (PDO y cambio de régimen) en larvas de peces en la Corriente de California (Moser *et al.* 2001, Hsieh *et al.* 2008, 2009, Smith & Moser 2003, Koslow *et al.* 2013).

BASE DE DATOS

El análisis de la base de datos para los peces se realizó teniendo en cuenta dos zonas de la Corriente de California: México y Estados Unidos (Fig.1) basados en capturas comerciales y bases de datos de larvas.

1. Capturas comerciales de sardina desde 1926 - 2013. fuente de datos: Martín Hernández Rivas CICIMAR-IPN
2. Capturas de Anchoveta desde 1951 -2012. Fuente de datos: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Production (FishStat) Dataset (FAO)
3. Capturas de California halibut desde 1916-2013. Fuente de datos: California Commercial Information System (CFIS)

Para el desarrollo de este trabajo se procesaron las bases de datos de larvas de peces obtenidos por programas CalCOFI (California Cooperative Fisheries Investigations) e IMECOCAL (Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California), el periodo

analizado para Estados Unidos correspondió de 1951-201, los datos de México proveniente de CalCOFI abarcan desde 1951-1984 a partir del 1997 hasta el 2002 los datos fueron obtenidos de la base IMECOCAL.

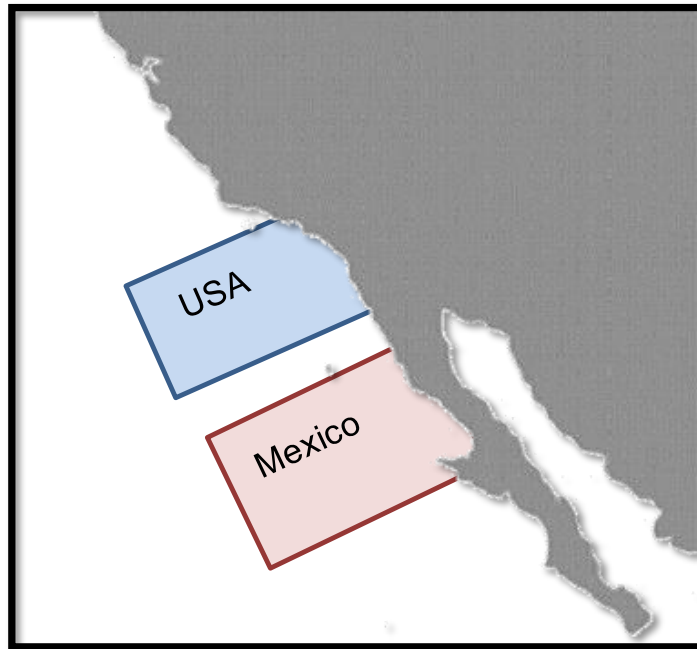


Figure 1. División región de la Corriente de California USA (azul) y México (Rojo) basados en capturas comerciales y bases de datos de larvas.

HIPOTESIS DOBLE INTEGRACIÓN

Se compararon las series de tiempo de capturas y abundancia de larvas con los índices climáticos: Pacific Decadal Oscillation (PDO), Multivariate ENSO Index (MEI), North Pacific Index (NPI) y North Pacific Gyre Oscillation (NPGO). No se encontró correlación directa entre los índices, las capturas y los datos de abundancia de larvas, por lo tanto se aplicó la hipótesis de la doble integración, propuesto por Di Lorenzo & Ohman (2012) a las series de tiempo. Este modelo ofrece una hipótesis de referencia para explicar la variabilidad de los ecosistemas y para interpretar la significancia de las respuestas abruptas y cambios climáticos sobre los ecosistemas marinos. This hypothesis (Eq. 1) is equivalent to a double integration of the atmospheric white-noise forcing and

leads to time series that are characterized by much stronger and smoother low-frequency variability:

$$\frac{d\beta(t)}{dt} = \phi(t) - \frac{\beta(t)}{t_{bio}}$$

Where the rate of change of an ecological variable, $\beta(t)$, is forced by red-noise variations of the ocean, $\phi(t)$, and t_{bio} is the natural damping timescale for the selected ecosystem variable.

Los datos de capturas son expresados en anomalías, los datos de abundancia de larvas se transformaron con $\log(X+1)$ para disminuir la varianza y posteriormente se expresaron en forma de anomalías.

RESULTS

PATRONES DE LA RESPUESTA TEMPORAL EN ADULTOS Y LARVAS

Al comparar las capturas de sardina entre Japón y California se observó que la sardina de California no está sincronizada con la variabilidad observada para el Japón. También se observan diferencias entre las capturas de Estados Unidos y México. En esta figura se resalta la tendencia a aumentar de la sardina de México a partir de 1998 (Fig. 2).

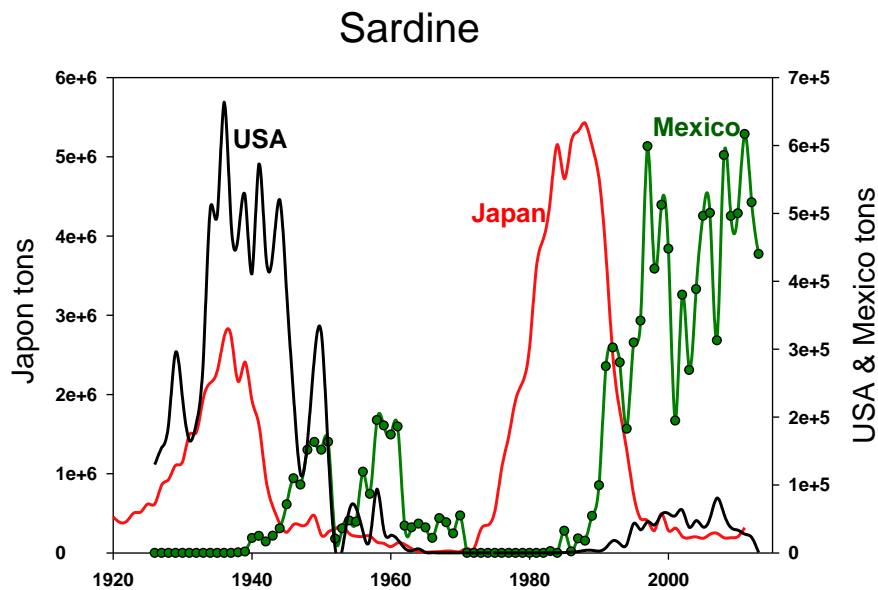


Figure 2. Variaciones observadas en las capturas de sardine para: Japon (línea roja) , California USA (línea negra) y Mexico (línea verde) desde 1920 hasta 2013.

En las anchovetas se observó un patrón asincrónico entre los datos de capturas del Perú y California es posible observar un desfase en la anchoveta de California relacionado con cambio de régimen. Este desfase es muy evidente cuando se compara la variación entre Estados Unidos y México (Fig. 3). En México la abundancia de este recurso aumenta incluso después de 1975, el cual se ha considerado una fase cálida.

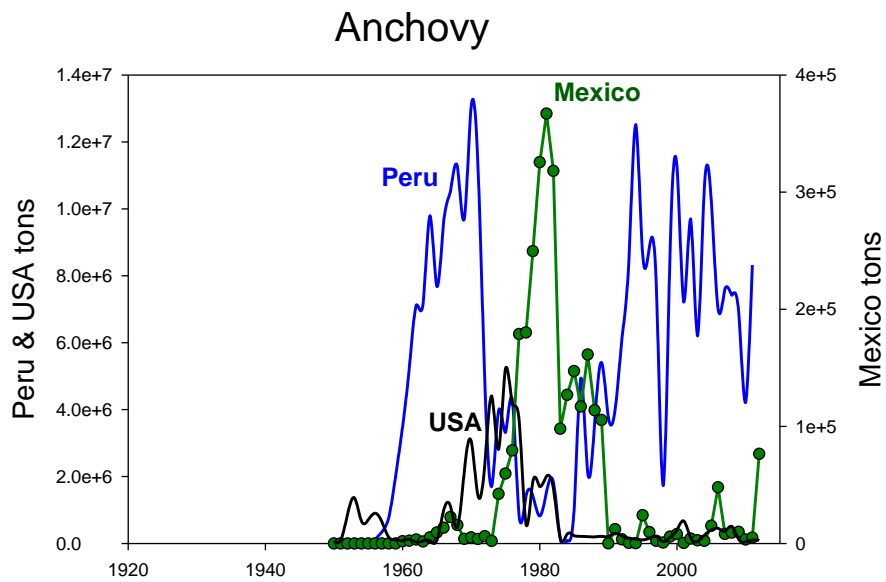


Figure 3. Variaciones observadas en las capturas de Anchoqueta para: Perú (línea azul) , California USA (línea negra) y México (línea verde) desde 1950 hasta 2012.

El California halibut de Mexico y Estados Unidos no presento un patrón claro en relación al cambio de régimen. Sin embargo es evidente que a partir de 1970 las capturas de México tienen a disminuir significativamente (Fig. 4).

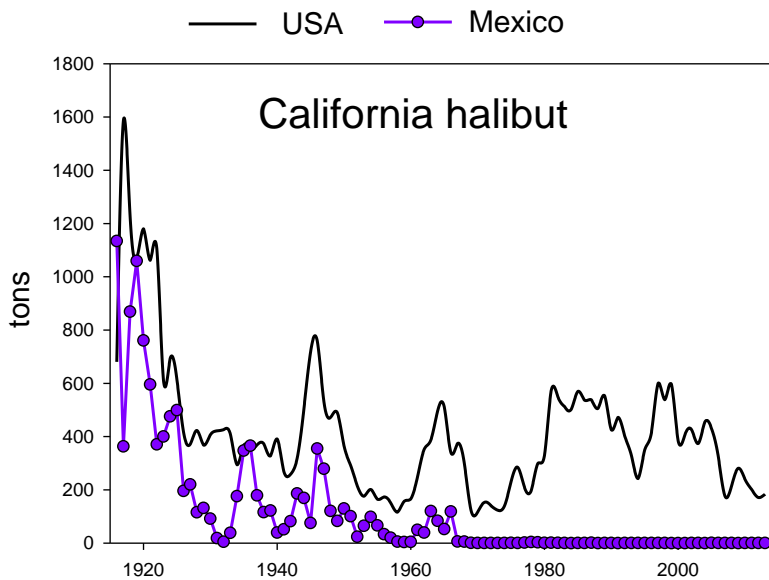


Figure 3. Variaciones observadas en las capturas de California Halibut en USA (línea negra) y México (línea purpura) desde 1920 hasta 2013.

En el caso de las larvas no se cuenta con la serie de datos completa con respecto a la abundancia, sin embargo se pudo observar en sardina (Fig. 4) y anchoveta (Fig. 5) que el patrón de variación es aparentemente similar entre adultos y larvas a largo plazo. En el caso de california halibut no se observo un patrón entre la abundancia de larvas con relación a los adultos (Fig. 6).

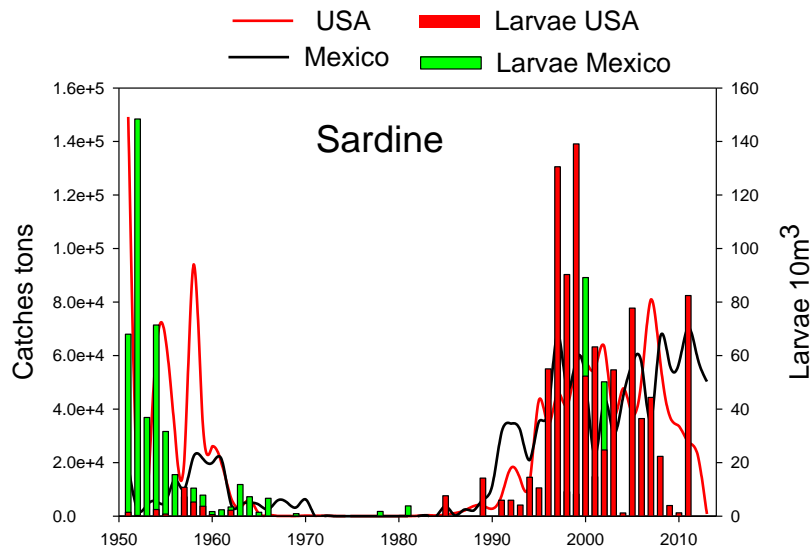


Figure 4. Patrones de variaciones observadas en las capturas de sardina para USA (línea roja) y México (línea negra) Vs la abundancia de larvas en México desde 1951-2002 (barras verdes) y USA (Barras rojas) desde 1951-2011.

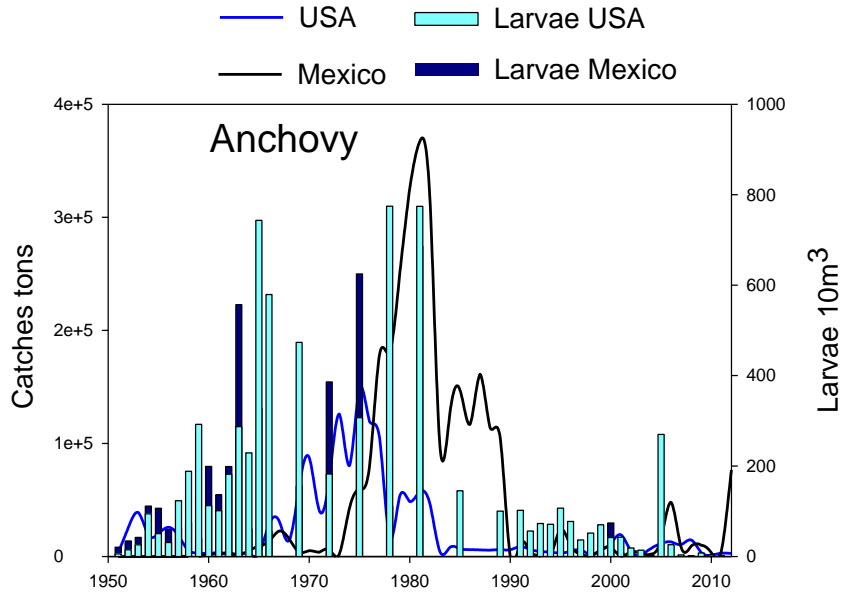


Figure 5. Patrones de variaciones observadas en las capturas de anchoveta para USA (línea azul) y México (línea negra) Vs la abundancia de larvas en México desde 1951-2002 (barras azul oscuro) y USA (Barras azul claro) desde 1951-2011.

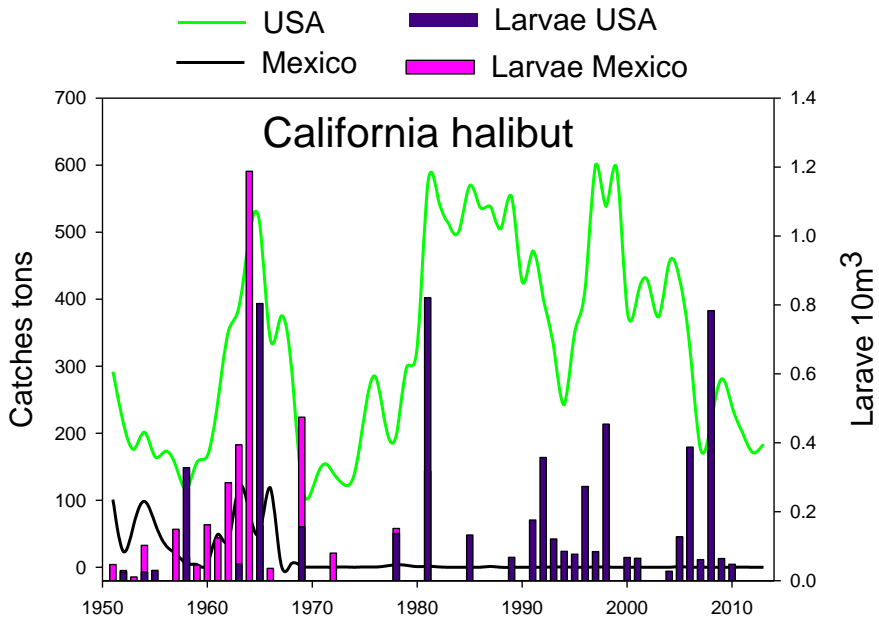


Figure 6. Patrones de variaciones observadas en las capturas de California halibut para USA (línea verde) y México (línea negra) Vs la abundancia de larvas en México desde 1951-2002 (barras) y USA (Barras violeta) desde 1951-2011.

ESPECIES FRENTE A LAS VARIACIONES CLIMATICAS

Se determinó el grado de relación entre los índices NPI, PDO, MEI, NPGO integrados a diferentes escalas temporales con los datos de capturas y abundancia de larvas de sardina, anchoveta y lenguado. Encontramos que el PDO integrado a 20 años se correlaciono significativamente con las capturas de sardina en Mexico y USA con un valor de $R = 0.79$ (Fig. 7), por su parte las larvas de sardina en las dos regiones se correlacionaron con el PDO a la misma escala con un $R = -0.76$ (Fig. 10). Las capturas de anchoveta en USA se correlacionaron igualmente con el PDO integrado a 20 años, con un valor de $R = -0.52$ (Fig. 8) y las larvas se correlacionaron significativamente con un valor de $R = -0.84$ en USA y de $R = -0.72$ en México (Fig. 11). Por otro lado el lenguado de california se correlaciono significativamente con el NPI integrado a 10 años con un valor de $R = -0.69$ (Fig. 9). No encontramos correlación significativa entre ninguno de los índices y la abundancia de larvas de lenguado.

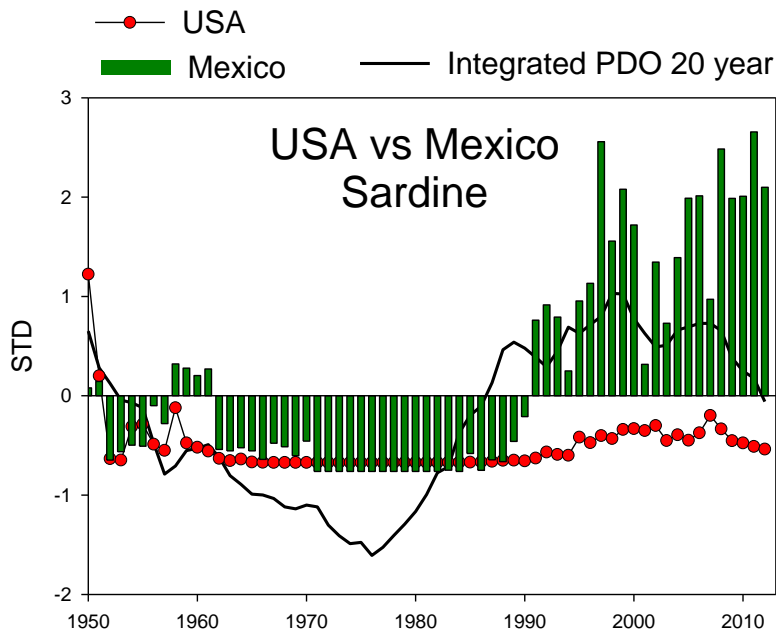


Figure 7. PDO integrado a 20 años (línea negra) comparado con los datos de capturas estandarizadas de sardina en USA (línea roja) y México (barras verdes) desde 1950-2012.

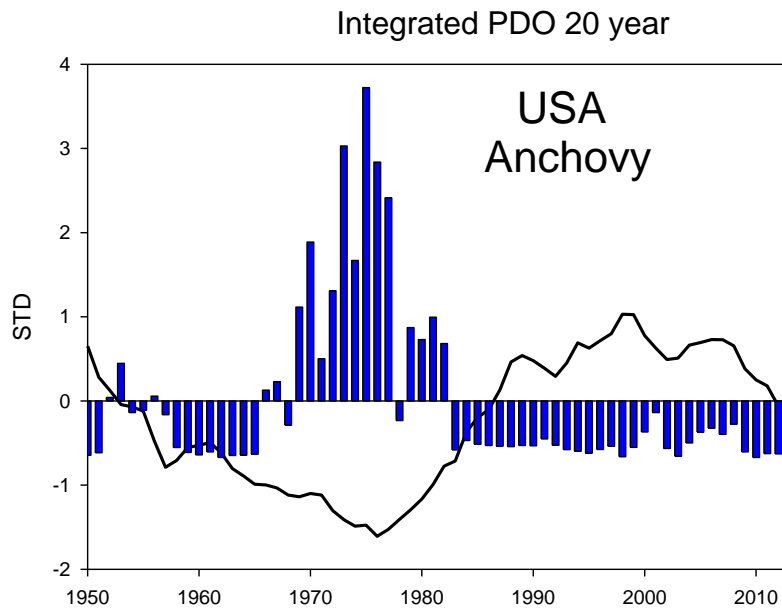


Figure 8. PDO integrado a 20 años (línea negra) comparado con los datos de capturas estandarizadas de anchoveta en USA (barras azules) 1950-2012.

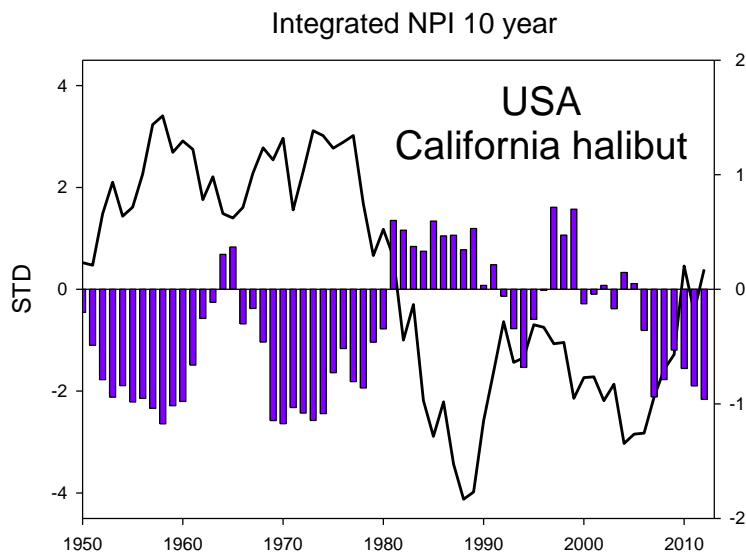


Figure 9. NPI integrado a 10 años (línea negra) comparado con los datos de capturas estandarizadas de california halibut en USA (barras violetas) 1950-2012.

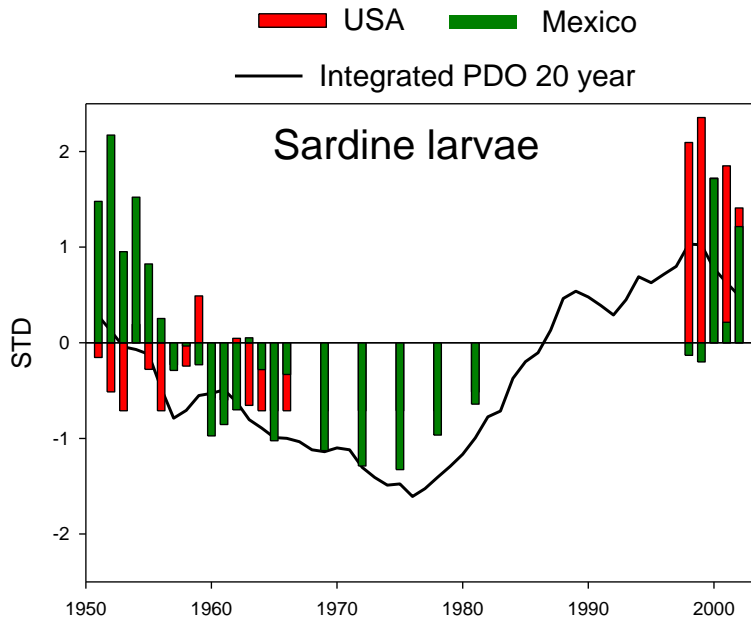


Figure 10. PDO integrado a 20 años (línea negra) comparado con los datos abundancia estandarizados para las larvas de sardina en USA (barras rojas) y México (barras verdes) 1951-2011.

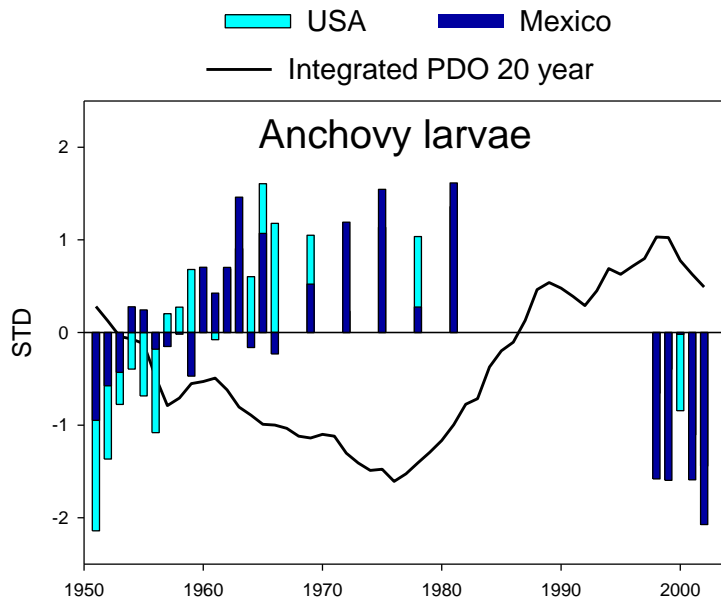


Figure 11. PDO integrado a 20 años (línea negra) comparado con los datos de abundancia estandarizados para las larvas de anchoveta en USA (barras azul claro) y México (barras azul oscuro) 1951-2011.

DISCUSSION

PATRONES DE LA RESPUESTA TEMPORAL EN ADULTOS Y LARVAS

Las fluctuaciones en la abundancia de sardina y anchoveta han sido ampliamente documentadas Lluch-Belda *et al.* (1989, 1992) compararon los datos de capturas de sardinas para tres regiones del pacífico: Japón, California y Humboldt encontraron que las fluctuaciones eran similares entre las series de tiempo, y que los máximos (1930-1940) y mínimos (1960-1970) registrados ocurrieron en general durante periodos similares. Del mismo modo Takasuka *et al.* 2008 sugieren que las poblaciones de sardina y anchoveta en Japón y California presentan un patrón similar en las oscilaciones y que estas alternancias podría estar relacionada con una sincronía entre los ecosistema.

Los resultados obtenidos en este estudio, demuestran que la sincronía no se ha mantenido durante las últimas décadas, que el patrón de oscilación de sardina entre Japón- California (Fig. 2), y de anchoveta entre Humboldt-California (Fig. 3) en las ultimas décadas. No se ajusta a las alternancias entre estos recursos que se habían descrito anteriormente.

La Corriente de California según nuestros resultados presenta un desfase en la señal del cambio de régimen y esta señal es evidente cuando se comparan los datos de capturas teniendo en cuenta diferencias latitudinales (capturas USA y México). En el caso de la anchoveta, esta presentó sus mayores registros de capturas a mediados de 1980 en la zona correspondiente a México, según la literatura durante esta época nos encontrábamos en un periodo de calentamiento. Sin embargo este patrón inusual también se observó en los datos de capturas de sardina en donde se observaron aumentos después de 1998 tanto en la zona de USA como de México manteniéndose esta tendencia alrededor del 2010.

Algunos estudios sobre cambio de régimen (Lluch-Belda *et al.* 1989, 1992, Schwartzlose *et al.* 1999, Chávez *et al.* 2003, Takasuka *et al.* 2008) han asociado las variaciones en la abundancia de sardina con la fase cálida (1976-1998) y anchoveta con la fase fría (1950-1975) del régimen climático, incluso se han sugerido estas especies como indicadores de cada una de las fases, debido a la sincronía con la que aparecen y desaparecen en diferentes partes del pacífico.

Sin embargo nuestro resultado a parte de no coincidir con las fluctuaciones observadas para otras partes del pacifico, tampoco coinciden con la preferencia térmica y los periodos con la que se han asociado estas especies. Lluch-Belda *et al.* (1992) reportaron que la sardina tiende a incrementar durante periodos cálidos e incluso tiende a colonizar áreas frías durante estos periodos. Y que la anchoveta tiende a ser más abundante en periodos de bajas temperaturas. En este contexto cabe resalta que según la literatura a partir de 1998 hubo un cambio de fase es decir que el sistema entro a un periodo de enfriamiento (Chávez *et al.* 2003) denominado el régimen de la anchoveta, sin embargo nuestro resultados muestran que la abundancia de sardina en México es mayor y se mantiene durante este periodo de enfriamiento. Este mismo patrón es observado con la anchoveta en México donde los registro de mayores capturas se realizaron después de 1975 periodo que según la literatura corresponde a un régimen cálido.

Los resultados de este trabajo, demuestra que el sector de la Corriente de California en la parte de México, está respondiendo a estos cambios de forma gradual. El aumento de la sardina después de 1998 podría estar asociado con migraciones de las poblaciones hacia ese sector ya que durante esta fase del régimen, esta zona podría proporcionar las condiciones óptimas para su desarrollo. Lluch-Belda *et al.* (1991) propone a Sebastian de Vizcaíno y Punta Eugenia como la mayor región se supervivencia de sardina, ellos sugieren que estas zonas son un área de refugio para las poblaciones de sardina durante periodos adversos. Ya que estas son zonas de transición donde se mantiene una alta productividad a través de los años.

Desconocemos la razón en los aumentos de la abundancia de anchoveta durante la fase cálida en el sector de México. Esta abundancia inusual durante un periodo de calentamiento en el sector de la Corriente correspondiente a México, se podría asociar a los centros de actividad biológica que se encuentran en punta Baja y Punta Eugenia Lluch-Belda *et al.* (2002) sugieren que estas zonas presenta una alta productividad primaria debido al proceso de surgencias por vientos y de esta forma concentran una gran actividad biológica a lo largo del año. Lo cual podría favorecer a las poblaciones de anchoveta durante periodos poco favorables.

LAS ESPECIES FRENTE A LAS VARIACIONES CLIMATICAS

Los organismos responden a cambios en el medio ambiente de forma temporal y espacial. Se sugiere que la naturaleza y la intensidad de las respuestas dependen específicamente de la historia de vida del organismo, y de cómo se acoplen los procesos de la historia de vida a estos forzamientos (Hollowed *et al.* 1998). Se ha demostrado que los cambios atmosféricos conducen cambios en las condiciones del océano y estos a su vez cambios en la abundancia y distribución de los niveles tróficos más bajos. En contraste los niveles tróficos más altos presentan una variedad de respuestas a estas variaciones climáticas y estas dependen de la sensibilidad de la especie, que se refleja en los cambios espaciales y temporales explicando los patrones de reclutamiento y variaciones en la biomasa en peces marinos.

Los resultados al aplicar la hipótesis de la doble integración del PDO a 20 años, sugieren que hay una correlación entre la abundancia de sardina y anchoveta en adultos y larvas. Es decir que la dinámica de estas poblaciones está detectando una señal interdecadal. La sardina presentó una correlación significativa con la fase positiva del PDO, mientras que la anchoveta se correlaciono negativamente. Los resultados confirman que los cambios en abundancia tanto de adultos como de larvas en sardina y anchoveta están asociados con las variaciones climáticas.

La correlación de la sardina con el PDO integrado a 20 años, podría estar con la historia de vida ya que se ha reportado que esta especie puede vivir hasta 20 años, aunque la mayoría viven menos de 8 años (Schwartzlose *et al.* 1998). Se conoce que las larvas son más vulnerables a los cambios en el ambiente, sin embargo observamos que estas están respondiendo de la forma similar que los adultos. La interpretación de este resultado se debe realizar con mayor detenimiento ya que no se cuenta con la serie de tiempo completa para las larvas de ambas especies. Por lo tanto la comprensión adecuada requiere de otros análisis que permitan complementar y dar mayor soporte a los resultados obtenidos hasta ahora.

CONCLUSIONS/RECOMMENDATIONS

California Current ecosystems exhibit large multi-decadal changes in the abundance of sardine, anchovy and halibut. Recent changes in sardine and anchovy have not followed those observed previously

California Current ecosystems do not respond in unison but there are clear latitudinal variations with California leading Mexico

There is a correlation between the time series of adults and larvae of sardine and anchovy. The analysis of larval patterns and abundance provide additional information regarding the overall functioning of the ecosystem

ACKNOWLEDGEMENTS

Gracias Monique Messié por su apoyo en el análisis de las bases de datos y la aplicación de la hipótesis de la doble integración, Timothy Pennington por sus múltiples revisiones y comentarios, Martin Hernández Rivas por la información de base de datos suministrada, MBARI summer Intership Program, Packard fundation, CICIMAR-IPN, CONACYT por el apoyo económico y la oportunidad de realizar este trabajo.

References:

- Aceves-Medina, G., Jiménez-Rosenberg, S. P. A., Hinojosa-Medina, A., Funes-Rodríguez, R., Saldierna, R. J., Lluch-Belda, D., Smith, P. E and Watson, W. 2003. Fish Larvae from the Gulf of California. *Scientia Marina*, 67 (1): 1-11.
- Avendaño-Ibarra, R., R. De Silva-Dávila, F.E. Ordóñez-Guillén Fátima, G. Vázquez-López, 2010. Composición estacional de larvas de peces frente a Baja California Sur (primavera y otoño de 2003). En: Gaxiola- Castro, G and Durazo- Arvizu, R (eds.). *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California 1997–2007*. Pp. 413-430.
- Chavez, P. F., Ryan, J., Lluch-Cota, E. S and Ñiquen, C. M. 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal changes in the pacific ocean. *Science* 299: 217-221.
- Di Lorenzo, E and Ohman, M. 2012. A double-integration hypothesis to explain ocean ecosystem response to climate forcing. *PNAS*. Vol. 110
- Espino, M and Yamashiro, C. 2012. La Variabilidad Climática y las Pesquerías en el Pacífico Suroriental. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40: 705-721.
- Funes- Rodríguez, R., Gonzales-Armas, R and Esquivel-Herrera, A. 1995. Distribución y Composición Especifica de Larvas de Peces Durante y Después de El Niño, en la Costa del Pacífico de Baja California Sur (1983-1985). *Hidrobiológica* 5: 113-125.
- Funes-Rodríguez, R., Hinojosa-Medina, A., Aceves-Medina, G., Jiménez-Rosenberg, S. P. A and Bautista-Romero, J. J. 2006. Influence of El Niño on Assemblages of Mesopelagic Fish Larvae Along the Pacific Coast of Baja California Sur. *Fisheries in Oceanography*. 15 (3): 244-255.
- Funes-Rodríguez, R., Zárate-Villafranco, A., Hinojosa-Medina, A., Gonzales-Armas, R and Hernández-Trujillo, S. 2011. Mesopelagic Fish Larval Assemblages During El Niño-Southern Oscillation (1997-2001) in the Southern Part of the California Current. *Fisheries in Oceanography*. 20 (4): 329-346.
- Hsieh, C-H., Kim, H. J., Watson, W., Di Lorenzo, E and Sugihara, G. 2009. Climate-Drive Changes in the Abundance and Distribution of Larvae of Oceanic Fishes in the Southern California Region. *Global Change Biology* 15: 2137-2152
- Hsieh, C-H., Reiss, C. S., Hewitt, R. P and Sugihara. G. 2008. Spatial Analysis Shows that Fishing Enhances the Climatic Sensitivity of Marine Fishes. *Can. J. fish. Aquat. Sci.* 65: 947-961.
- Koslow, J., Goericke, R and Watson, W. 2013. Fish assemblages in the Southern California Current: relationships with climate, 1951-2008. *Fish. Oceanogr.* 22:3, 207-219.

Lluch-Belda, D., Crawford, R.J.M., Kawasaki, T., MacCall, A.D., Parrish, R.H., Schwartzlose R.A and P.E. Smith. 1989. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: The regime problem. *South African Journal of Marine Science* 8: 195-205.

Lluch-Belda, D., Laurs, M.R., Lluch-Cota, D.B and Lluch-Cota, S. 2001. Long-Term Trends of Interannual Variability in the California Current System. *CalCOFI*, Vol. 42: 129-144.

Lluch-Belda, D., Schwartzlose, R. A., Serra, R., Parrish, R., Kawasaki, T., Hedgecock, D and Crawford, J.M. 1992. Sardine and anchovy regime fluctuations of abundance in four regions of the world oceans: a workshop report. *Fish. Oceanogra.* 1:4, 339-347

Mantua, Nathan J., Steven R. Hare, Yuan Zhang, John M. Wallace, Robert C. Francis, 1997: A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 1069–1079.

Menzel, A., Sparks, T. H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewski, F. M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, A., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatczak, K., Måge, F., Mestre, A., Nordli, O., Peñuelas, J., Pirinen, P., Remišová, V., Scheifinger, H., Striz, M., Susnik, A., Van Vliet, A. J. H., Wielgolaski, F.-E., Zach, S. and Züst, A. (2006), European Phenological Response to Climate Change Matches the Warming Pattern. *Global Change Biology*, 12: 1969–1976

Moser, H. G., R. L. Charter, P. E. Smith, D. A. Ambrose, W. Watson, S. R. Charter, and E. M. Sandknop. 2001. Distributional atlas of fish larvae and eggs in the Southern California Bight region: 1951-1998.

Roemmich, D. and J. McGowan. 1995. Climate warming and the decline of zooplankton in the California Current. *Science* 267:1324-1326

Salvadeo, C.J. 2012. Variabilidad Climática de Gran Escala y sus Efectos Ecológicos en el Pacífico Mexicano. Tesis Doctorado. CICIMAR-IPN, la Paz. B.C.S. México.

Schwartzlose, R. A., Alheit, J., Bakun, A., Baumgartner, T. R., Cloete, R., Crawford, J.M., Flecher, W.J., Green-Ruiz, Y., Hagen, E., Kawasaki, T., Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, S., MacCal, A.D., Matsuura, Y., Neverez-Martinez, M.O., Parrish, R.H., Roy, C., Serra, R., Shust, K. V., Ward, M. N. and Zuzunaga, J. Z. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *S. Afr. J. mar. Sci.* 21: 289-347.

Smith, P. E and Moser, G. H. 2003. Long-Term Trends and Variability in the Larvae of Pacific Sardine and Associated Fish Species of the California Current Region. *Deep-Sea Research II* 50: 2519-2536.

Stenseth, N. C., Mysterud, A., Ottersen, G., Hurrell, J.W., Chan, K-S and Lima, M. 2002. Ecological Effects of Climate Fluctuations. *Science* Vol. 297: 1296-1292.

Takasuka, A., Oozeki, Y., Kubota, H., Lluch-Cota, S. 2008. Contrasting spawning temperature optima: Why are anchovy and sardine regime shifts synchronous across the North Pacific?. *Progress in Oceanography*. 77 : 225-232.