



Ministerio de Defensa Nacional  
Dirección General Marítima  
Autoridad Marítima Colombiana

Vulnerabilidad de las áreas protegidas del Pacífico Colombiano asociada a los cambios en la bioquímica del océano, en diferentes escenarios de cambio climático:  
PNN Gorgona y SFF Malpelo.

Christian Bermúdez-Rivas, María del Pilar Aguirre-Tapiero, Robinson Casanova  
Dirección General Marítima – DIMAR, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico-CIOHP.

## Introducción

El aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera y el posterior aumento de la temperatura traerán consecuencias que en algunos casos se están teorizando a futuro, pero que en otros se están evidenciando efectos reales actualmente. Tal es el caso del derretimiento de los casquetes polares (Meier *et al.*, 2014) y los glaciares de las montañas tropicales (Ceballos *et al.*, 2006). Otros efectos esperados, son los que influyen sobre la biogeoquímica del océano y los ecosistemas marinos (Doney *et al.*, 2014), los cuales pueden presentarse como cambios en la salinidad que afectarán la disponibilidad iónica para las células vivas, el blanqueamiento o decoloración de los corales por el aumento de la temperatura del agua; la acidificación de los océanos que inhibe el proceso de calcificación de algunos organismos con estructuras calcáreas impactando en la productividad primaria y secundaria (Doney *et al.*, 2014), la migración de especies marinas hacia los polos en búsqueda de aguas más frías, conduciendo a un aumento de riqueza de especies en latitudes medias y un descenso en latitudes bajas como los trópicos, derivando posteriormente, en un fuerte impacto en la pesca y la acuicultura (Cochrane *et al.*, 2012), con importantes consecuencias para la seguridad alimentaria de las comunidades costeras y ribereñas en países tropicales.

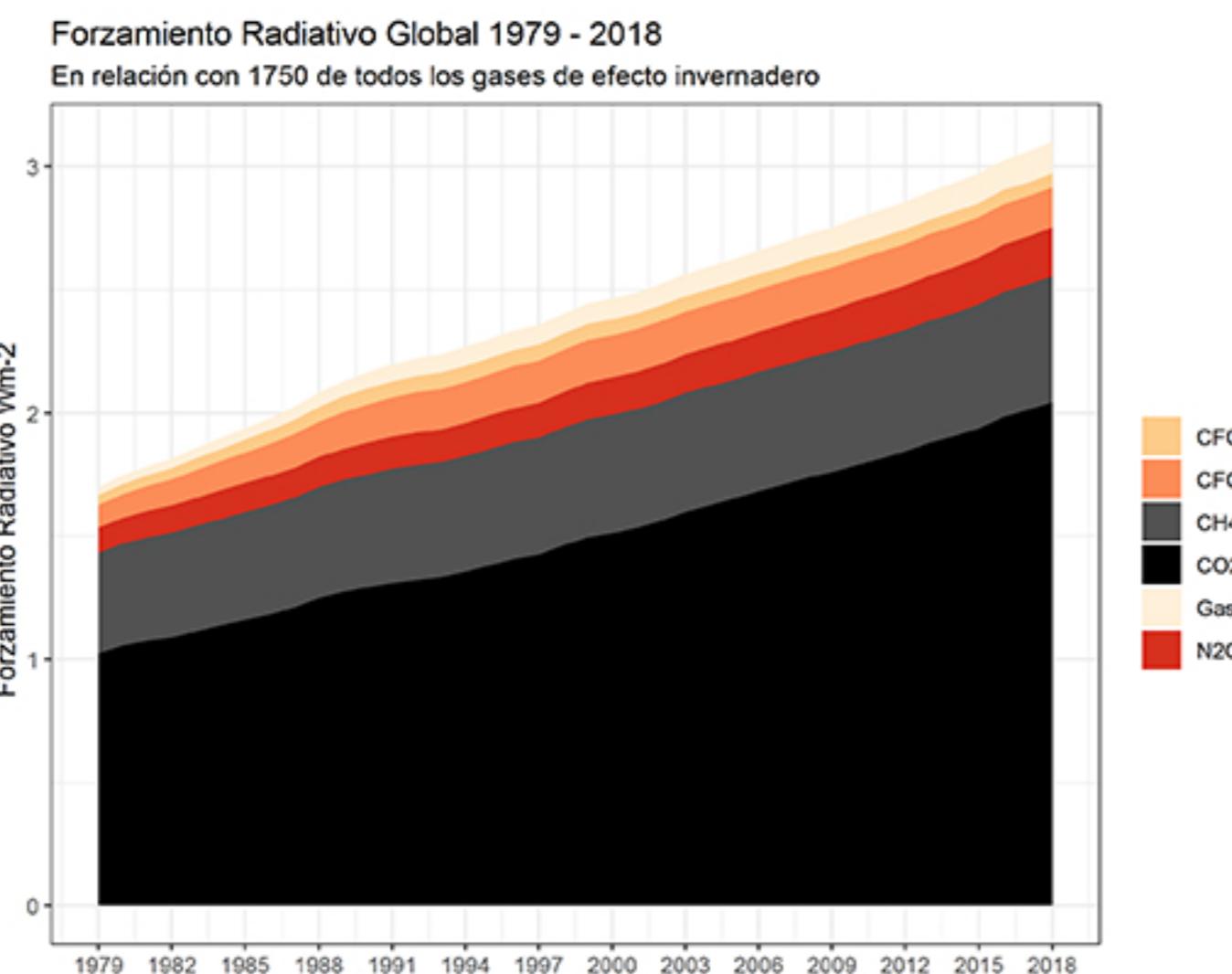


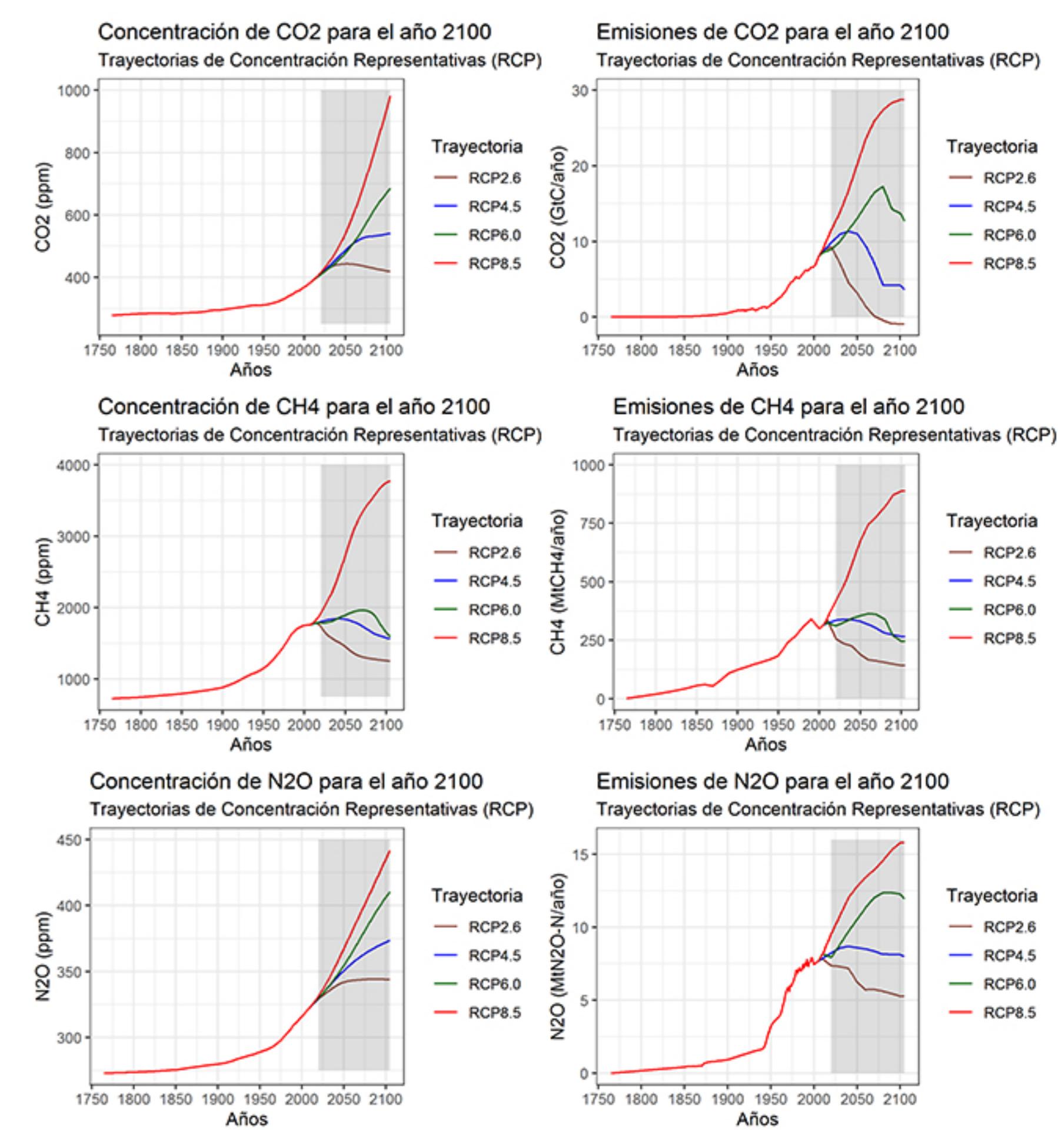
Figura 1. Forzamiento Radiativo relativo al año 1750 de todos los gases de efecto invernadero de larga duración (Datos tomados de: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html> ).

Escenario	Forzamiento Radiativo	Concentración CO2 (ppm)	Anomalia de temperatura	Trayectoria	Equivalente para escenarios SRES [W/m2]
RCP 2.6	2.6	490	1.5	2100, en aumento	Ninguno
RCP 4.5	4.5	650	2.4	Estabilización después del 2100	SRES B1
RCP 6.0	6.0	850	3	Estabilización después del 2100	SRES B2
RCP 8.5	8.5	>1370	4.9	Picos antes del 2100 y posterior declinación	SRES A1F1

## Escenarios de Cambio Climático

Para estudiar estos efectos mencionados a nivel oceanográfico, es necesario contar con series de tiempo in situ que permitan la realización de análisis a largo plazo (Henson *et al.*, 2016). No obstante, existen dificultades de tipo técnico y económico que limitan esta condición, siendo el sensoramiento remoto una respuesta a esta dificultad. Esta tecnología ha promovido la creación de modelos y proyecciones futuras sobre el clima y el océano, como los producidos por el Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP, por sus siglas en inglés) (Meehl *et al.*, 2005). Dentro de estos modelos, existen diferentes escenarios experimentales que son trayectorias representativas de concentraciones de gases de efecto invernadero (RCP, por sus siglas en inglés) (Dufresne *et al.*, 2012). Estos escenarios fueron adoptados por el IPCC en el 2014 y describen cuatro posibles condiciones climáticas futuras: RCP 2.6 (o RCP3-PD), RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5, donde el número representa el forzamiento radiativo medida en W·m<sup>-2</sup> para el año 2100, describiendo el cambio de energía en la atmósfera debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (Moss *et al.*, 2010).

Figura 2. Concentración y emisiones de los tres principales gases de efecto invernadero, Dióxido de Carbono (CO2), Gas Metano (CH4) y Óxido Nitroso (N2O) desde el año 1750 y sus respectivas proyecciones hasta el año 2100 bajo los cuatro escenarios de trayectoria de concentración representativa (RCP) 2.6, 4.0, 6.0 y 8.5.



## La bioquímica del océano en las áreas marinas protegidas y su relación con el cambio climático.

Debido a la necesidad de entender la posible influencia del cambio climático en las condiciones bioquímicas del Océano Pacífico Colombiano y específicamente en las áreas marinas protegidas, se seleccionaron el Parque Nacional Natural (PNN) Gorgona y el Santuario de Flora y Fauna (SFF) Malpelo como objetivos de este estudio, ya que estas representan áreas contrastantes, donde la primera se puede considerar que tiene una fuerte influencia costera y la segunda como más representativa de un ambiente oceánico. Estas áreas protegen importantes hábitats para diferentes especies marinas como ballenas, tiburones y tortugas, además de una buena porción de arrecifes de coral, contribuyendo espacios adecuados para el monitoreo de los efectos del cambio climático global.

Para desarrollar la evaluación de las condiciones oceanográficas de estas dos áreas protegidas frente a las posibles consecuencias del cambio climático, se consideraron las tendencias a futuro basadas en dos modelos del CMIP5: IPSL-CM5A-LR y MPI-ESM-LR. Estas variables fueron: la Temperatura Superficial del Mar - TSM (en °C), Oxígeno Disuelto - OD (en mol.l<sup>-1</sup>), Salinidad Superficial del Mar - SSM (en PSU), pH en la superficie, Alcalinidad Superficial (en mol.m<sup>-3</sup>), Concentración de Calcita (en µM), Concentración de nutrientes (Nitatos, Silicatos y Fosfatos) (en µM), Concentración de Carbono aportado por el Zooplancton (en µM) y la Productividad Primaria basada en la Concentración de Clorofila (mg/m<sup>3</sup>).



Figura 3. Zona Económica Exclusiva de Colombia resaltando la ubicación de las áreas marinas protegidas del SFF Malpelo y PNN Gorgona.

### Conclusiones

Todas las variables presentaron tendencias disímiles en ambos escenarios, siendo el escenario RCP 8.5, como se esperaba, el que presenta mayores consecuencias desfavorables para las áreas protegidas consideradas. El escenario RCP 2.6 presenta 12 situaciones con efectos adversos para las áreas protegidas (Tabla 1), 4 para el PNN Gorgona y 9 para el SFF Malpelo. El escenario RCP 8.5 presenta 21 situaciones con efectos adversos (Tabla 2), 10 para el PNN Gorgona y 11 para el SFF Malpelo.

Si se consideran un mayor porcentaje de efectos adversos como una medida de la vulnerabilidad de las áreas protegidas frente a estos escenarios de cambio climático, el SFF Malpelo tendría una vulnerabilidad del 91% frente a un 64% del PNN Gorgona. Sin embargo estas conclusiones deben considerarse con algún grado de limitación debido a que solo se analizaron las variables a nivel de superficie del océano y no se consideró el comportamiento de las variables en la columna de agua con su respectiva variabilidad; de esta manera es probable que se estén enmascarando características relacionadas a la profundidad que puedan mitigar algunas tendencias halladas en este análisis y que puedan incentivar la resiliencia, sobre todo en el caso del SFF Malpelo que presenta paisajes subacuáticos de mayor profundidad de los que se pueden observar en el PNN Gorgona.

A partir de lo encontrado en este estudio se hace necesario incentivar en el país recolección de datos de estas variables bioquímicas a largo plazo, para monitorear estos probables cambios y además hacerlo en toda la columna de agua para incluir las tendencias de lo que ocurre en los ambientes más profundos.

### Literatura Citada

- Ceballos, J.L., C. Euscátegui, J. Ramírez, M. Cañón, C. Hugel, W. Haebler, & H. Machugh. 2006. Fast Shrinkage of Tropical Glaciers in Colombia. *Annals of Glaciology* 43: 194-201
- Cochrane, J.L., D. Soto, & T. Bahri. 2012. Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura, visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos. Documento Técnico de Pesca y Acuicultura. No 530. Roma FAO 237p
- Doney, S.C., L. Bopp, M. Long, 2014. Historical and future trends in Ocean Climate and Biogeochemistry. *Oceanography* 27 (1): 108-109. doi:10.5670/oceanog.
- Dufresne, J.-L., C. C. De Young, & R. Lampitt. 2013. Climate Change Projections Using the IPSL-CM5 Earth System Model: From CMIP3 to CMIP5. *Circulae Dynamics*. Vol. 40. doi:10.1007/s00382-012-1626-1.
- Henson, Stephanie A., C. Beaulieu, & R. Lampitt. 2016. Observing Climate Change Trends in Ocean Biogeochemistry: When and Where. *Global Change Biology* 22 (4): 1561-71. doi:10.1111/gcb.13152.
- Meier, W. N., et al. 2014. Arctic Sea Ice in Transformation: A Review of Recent Observed Changes and Impacts on Biology and Human Activity. *Reviews of Geophysics* 52 (3): 185-217. doi:10.1002/2013RG000431.
- Moss, R., et al. 2008. Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts and Response Strategies. Technical Summary. Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, Geneva, 25p. doi:10.1086/522422.

Tabla 1. Valores medios de algunas variables fisiocíquicas durante el período 2007 - 2013 en aguas circundantes a SFF Malpelo y PNN Gorgona.

### Tabla 1. Valores medios de algunas variables fisiocíquicas durante el período 2007 - 2013 en aguas circundantes a SFF Malpelo y PNN Gorgona.

### Tabla 2. Tendencias al año 2100 de las variables oceanográficas medidas en superficie de: Temperatura Superficial del Mar, TSM (°C), Oxígeno Disuelto (mol.l<sup>-1</sup>), Salinidad (PSU), pH, Alcalinidad (mol.m<sup>-3</sup>), Concentración de Calcita (µM), Concentración de Nutrientes (Nitatos, Silicatos y Fosfatos) (µM), Concentración de Carbono aportado por el Zooplancton (µM) y Concentración de Clorofila (µM); bajo los escenarios de cambio climático: RCP 2.6 y RCP 8.5, para cada área protegida marina. En rojo se visualizan los cambios que pueden ser adversos y en blanco los cambios que no tendrían un impacto muy severo en las áreas protegidas.

VARIABLE	SFF MALPELO		PNN GORGONA		Promedio 2006 - 2010	Anual	Decada	Tendencia para el 2100	Valor Total al 2100
	n	Promedio	n	Promedio					
Temperatura (°C)	47	26.9 ± 0.62	7	27.365±0.34					
Salinidad (PSU)	47	31.0 ± 2.6							
pH (escala NBS)	63	8.14±0.12*	79	8.19±0.08					
Oxígeno (mg/L)	64	6.47±0.29	66	6.63±0.15					
Fosfatos (µM)	73	0.21±0.10	50	0.18±0.12					
Clorofila (mg/m3)	63	3.0E-1 ± 1.0E-1	79	6.0E-1 ± 5.0E-1					
Silicatos (µM)	70	2.0±2.28	96	4.19±2.75					
Nitatos (µM)	65	0.94±1.05	82	0.79±1.01					

### Tabla 2. Tendencias al año 2100 de las variables oceanográficas medidas en superficie de: Temperatura Superficial del Mar, TSM (°C), Oxígeno Disuelto (mol.l<sup>-1</sup>), Salinidad (PSU), pH, Alcalinidad (mol.m<sup>-3</sup>), Concentración de Calcita (µM), Concentración de Nutrientes (Nitatos, Silicatos y Fosfatos) (µM), Concentración de Carbono aportado por el Zooplancton (µM) y Concentración de Clorofila (µM); bajo los escenarios de cambio climático: RCP 2.6 y RCP 8.5, para cada área protegida marina. En rojo se visualizan los cambios que pueden ser adversos y en blanco los cambios que no tendrían un impacto muy severo en las áreas protegidas.

## S.F.F. MALPELO

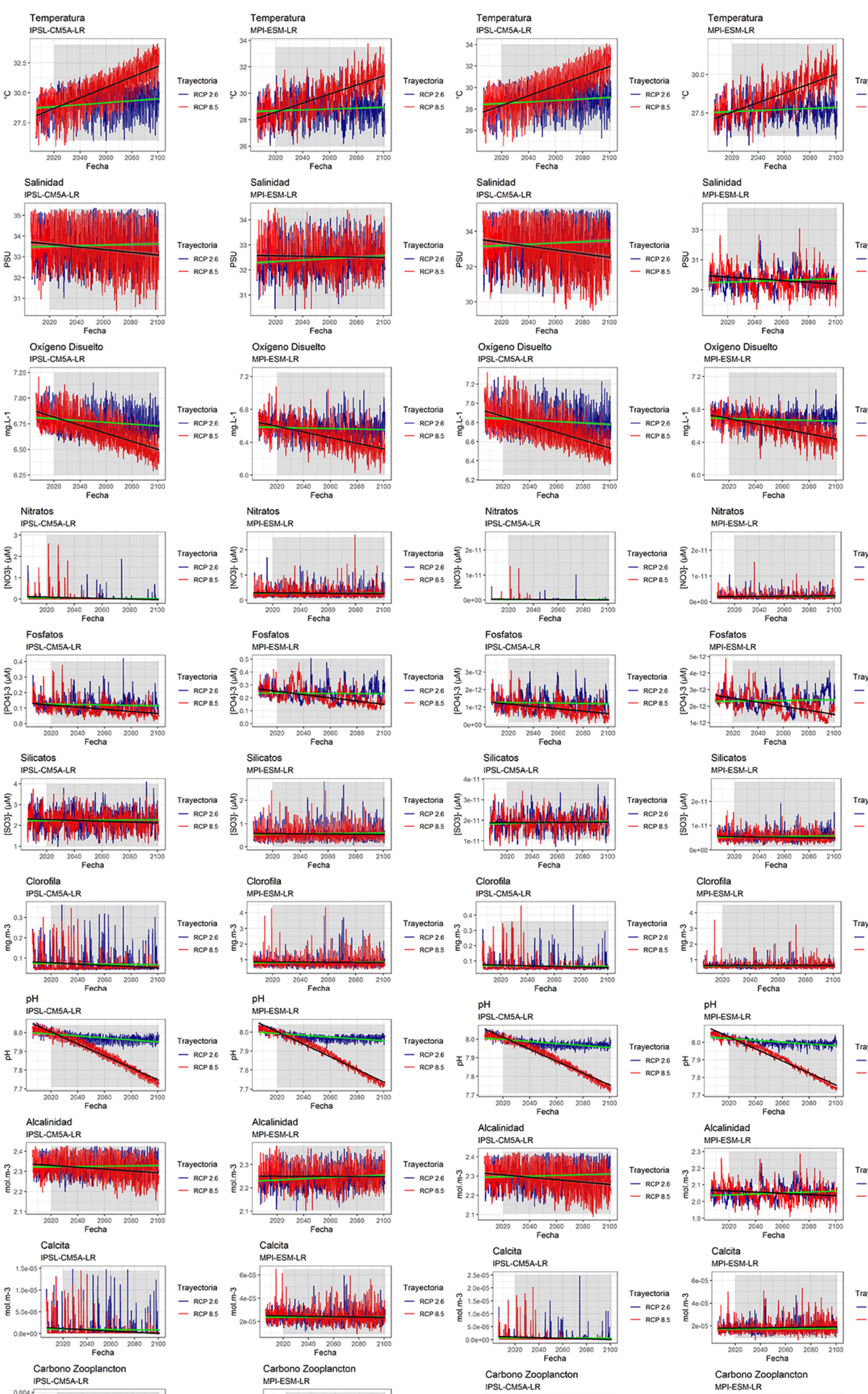


Figura 4. Proyecciones de la tasa de cambio de las variables oceanográficas analizadas en este estudio para el Santuario de Flora y Fauna de Malpelo.

## P.N.N. GORGONA

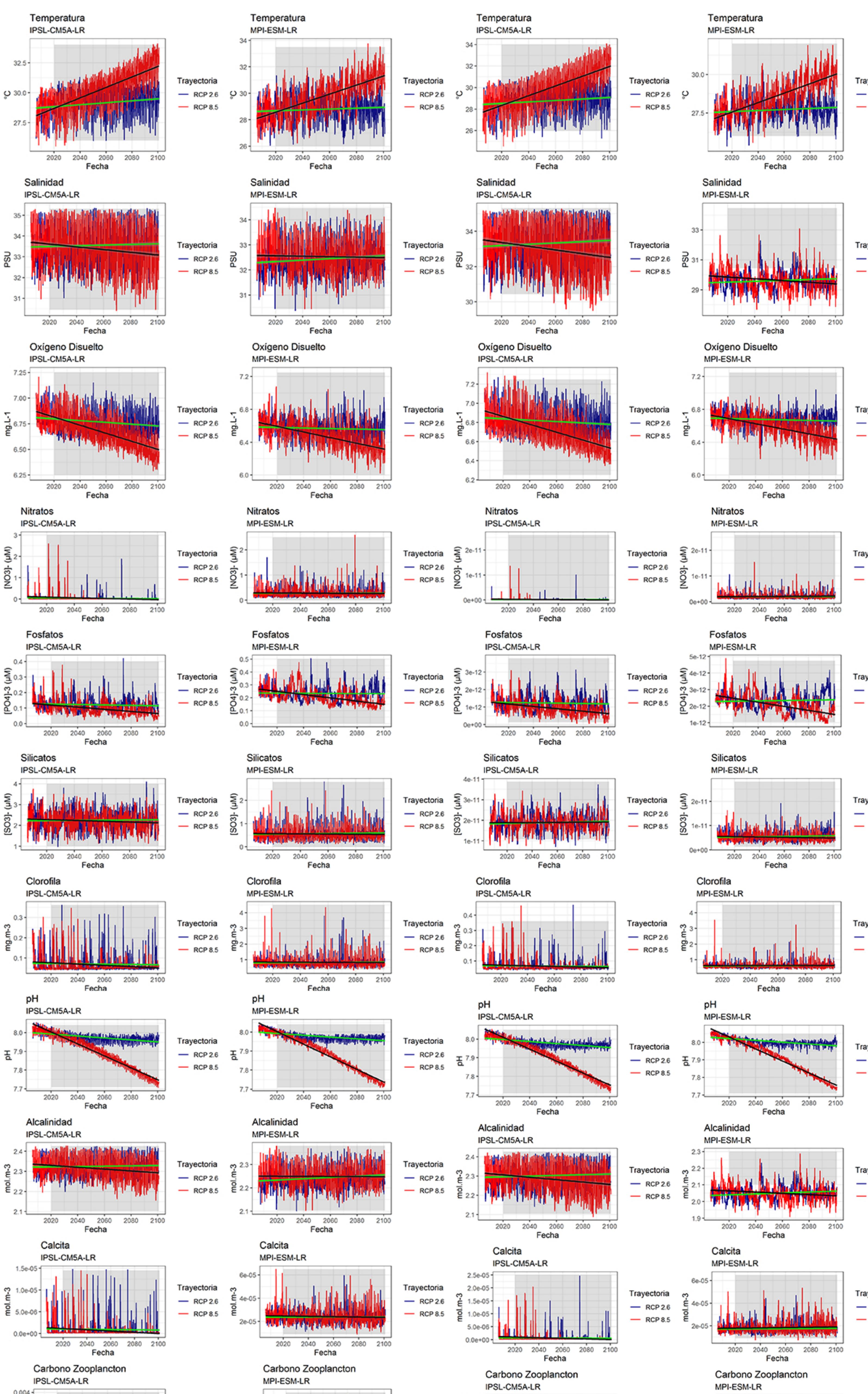


Figura 5. Proyecciones de la tasa de cambio de las variables oceanográficas analizadas en este estudio para el Parque Nacional Natural Gorgona.



Dirección  
General Marítima



@dimarcolombia



DimarColombia



dimarcolombia



dimarcolombia  
www.issuu.com