

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA



**Evaluación de las dos Versiones del Modelo Climático
CFS para el Pronóstico Estacional de Anomalías de la
Temperatura Superficial del Mar en el Pacífico
Ecuatorial**

Tesis, presentada por el bachiller **Jorge Antonio Reupo Vélez** para
obtener el grado de Licenciado en Física

MODALIDAD 1

Lima - Perú

2018

Asesores

Asesor Dr. Pablo Lagos Enríquez.
Co-Asesor Dr. Ken Takahashi Guevara

Dedicatoria

A mis padres, Andrea y Alberto, por el apoyo y motivación constante, por los consejos, y los valores que me inculcaron. A mis hermanos Claudia y Nestor, y a mi sobrina Lucia por los grandes momentos que pasamos juntos.

Agradecimientos

El presente trabajo se desarrolló en el Instituto Geofísico del Perú (IGP), en la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera (SCAH). Un agradecimiento especial al Dr. Ken Takahashi Guevara por sus ideas y consejos para el desarrollo de este trabajo de tesis.

Al Dr. Pablo Lagos Enríquez por su apoyo como asesor de este trabajo, por la enseñanza y orientación en la época de la universidad.

A todos mis amigos que fueron y son parte de SCAH, con quienes compartí inquietudes, conocimientos y momentos muy gratos.

A todos los profesores de la facultad de Ciencias Físicas que contribuyeron con mi formación académica, así como a mis colegas y amigos de la universidad que compartieron su amistad y grandes momentos de alegría.

Al *Climate Forecast System* (CFS) del organismo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), por proporcionar los datos de pronósticos hindcast (retrospectivos), así como a *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature* (OISST) y *Global Ocean Data Assimilation System* (GODAS) por los datos de reanalysis.

Resumen

En esta investigación se evalúa e interpreta la predicción de las Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM) frente a la costa de Sudamérica asociada al fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), se analizaron los resultados de las dos interpretaciones del modelo climático acoplado (océano - tierra - atmósfera) *CLIMATE FORECAST SYSTEM* (CFS) del organismo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) de los EEUU. La primera versión del modelo hace el pronóstico hasta 9 leads (meses) a futuro y se toma para el estudio los pronósticos para el periodo de los años 1982-2009 para la región Niño 1+2; la segunda versión del modelo hace el pronóstico hasta 10 leads (meses) a futuro y se toma el periodo 1983-2010 para la misma región. Los mayores coeficientes de correlación entre los pronósticos del CFSv1 (versión 1) y los datos observados se dieron entre los meses Mayo-Diciembre con un valor entre 0.65 y 0.9. Estos valores son mayores hacia los últimos meses del año y disminuyen a manera que se incrementan el tiempo de pronósticos; los mayores coeficientes de correlación para el CFSv2 (versión2) se observa entre los meses abril-mayo y octubre-enero; como un primer resultado se observa que los coeficientes de correlación de CFSv2 son menores que los coeficientes que CFSv1.

Se realiza también el mismo procedimiento y análisis de los pronósticos de anomalías de TSM para las regiones Niño 3, Niño 3.4 y Niño4; de la misma manera para el estudio en tres periodos del CFSv1 abarcando los siguientes años 1982-1990, 1991-2000, 2001-2009, y para el CFSv2 los años 1983-1990, 1991-2000, 2001-2010. Las correlaciones fueron buenas para los primeros dos periodos, pero en el último periodo se observaron bajos niveles de correlación para la región Niño 1+2 en las 2 predicciones del CFS, donde los niveles de correlación incluso fueron en algunos meses negativos. Se sugiere que esto últi-

mo se debe a cambios decadales en el clima del Pacífico que ha llevado en una predominancia de eventos “El Niño Modoki”.

El CFS también hace pronósticos de otras variables y/o indicadores, entre ellos se utilizó el Contenido de Calor en el Océano (CCO), Profundidad de la Isotherma de 15 °C (PI15°C) y Nivel Medio del Mar (NMM) como posibles predictores de cambios en el océano Pacífico, los resultados de estas variables indicaron que no son mejores que la TSM modelada por el mismo modelo.

La importancia de este trabajo es la utilidad para un eventual pronóstico de un evento Niño en el OP, en especial el monitoreo de la región Niño 1+2.

Palabras clave: CFS, Niño Modoki, TSM, CCO, PI15°C, ANMM

Abstract

This research evaluates and interprets the prediction of the anomalies of Sea Surface Temperature (SST) over South American coasts associated with the El Niño-Southern Oscillation (ENSO). The results of the two interpretations of the coupled climate model (ocean - earth - atmosphere) CLIMATE FORECAST SYSTEM (CFS) of the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) and the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) of US were analyzed. The first version of CFS model (CFSv1) forecasts up to 9 months from now and the period 1982-2009 was chosen as climatological for the Niño 1 + 2 region; the second version of the CSF model (CFSv2) forecasts up to 10 months from now and takes the period 1983-2010 like climatological period. The highest correlation indexes between the CFSv1 forecasts and the observed data are observed between May-December with a value between 0.65 and 0.9. These values are higher in the last months of the year and decrease when the forecast time increases; the highest correlation for the CFSv2 model are observed in April-May and October-January; as a first result the correlation observed in CFSv2 model are lower than in CFSv1 model.

The same methodology and analysis was made for the prediction of SST anomalies for the Niño 3, Niño 3.4, and Niño 4 regions; in the same way for three periods of study with the CFSv1 model (1982-1990, 1991-2000, and 2001-2009) and CFSv2 model (1983-1990, 1991-2000, and 2001-2010). The correlations are good for the first two periods, but in the last period, low correlation are observed for the Niño 1+2 region in the two CFS predictions, where the correlation are even negatives in several months. This latter might be caused by the decadal changes of the climate of equatorial Pacific climate that has led to a predominance of “El Niño Modoki”. events. The CFS also forecasts other variables and / or indices, including the Ocean Heat Content, Isotherm

Depth of 15 °C and Mean Sea Level Height as potential predictors of changes observed in the Pacific Ocean, the results of these variables together with SST are not so good, these results will be shown in the chapter V. The importance of this work is the utility for an eventual forecast of an El Niño event in the OP, especially monitoring the Niño 1+2 region.

Keywords: CFS, Modoki Niño , SST, CCO, PI15°C, ANMM

Índice de figuras

1.1. Regiones El Niño en el Océano Pacífico Ecuatorial. (Fuente: NOAA)	5
2.1. a) Condiciones El Niño, b) Condiciones normales, c) Condiciones La Niña. (Fuente: NOAA)	14
2.2. a) Condiciones El Niño, b) Condiciones El Niño Modoki, c) Condiciones La Niña, d) Condiciones La Niña Modoki. (Fuente: Ashok and Yamagata 2009)	15
2.3. Fase cálida de la ODP (izquierda) y fase fría (derecha). (Fuente: JISAO)	18
2.4. Oscilación decadal en el océano Pacífico. (Fuente: NOAA)	19
3.1. Ecuaciones de la Atmósfera y el Océano. (Fuente: Universidad de Cantabria, tema: “Los modelos climáticos globales”, julio de 2007)	21
3.2. Representación de un modelo computacional global de la atmósfera de la tierra. (Fuente: NOAA)	22
3.3. Corridas (miembros) de pronóstico para la región Niño 3.4, anomalías de la TSM de 15 condiciones iniciales (del 9 de abril al 3 de mayo), figura de la izquierda para el año 1997 y la de la derecha para 1998. Todos los miembros se muestran en líneas punteadas rojas, la línea promedio es la línea roja continua, las anomalías observadas se observan en la línea negra continua. (Fuente: S.Saha et.al. 2006)	26
5.1. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L1 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	33

5.2. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L2 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	33
5.3. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L3 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	33
5.4. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L4 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	34
5.5. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L5 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	34
5.6. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L6 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	34
5.7. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L7 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	35
5.8. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L8 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	35
5.9. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L9 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	35
5.10. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L1 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L1 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	37
5.11. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L2 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L2 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	37
5.12. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L3 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L3 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	37

5.13. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L4 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L4 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	38
5.14. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L5 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L5 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	38
5.15. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L6 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L6 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	38
5.16. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L7 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L7 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	39
5.17. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L8 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L8 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	39
5.18. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L9 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L9 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	39
5.19. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L10 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L10 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	40
5.20. Series de tiempo depronosticada las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L1 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)	42
5.21. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L2 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)	42
5.22. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L3 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)	42
5.23. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L4 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)	43

5.24. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L5 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)	43
5.25. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L6 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)	43
5.26. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L7 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)	44
5.27. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L8 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)	44
5.28. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L9 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)	44
5.29. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L1 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L1 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	46
5.30. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L2 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L2 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	46
5.31. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L3 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L3 y observada. Repronosticadagión Niño 3.4 (1983-2010)	46
5.32. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L4 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L4 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	47
5.33. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L5 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L5 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	47
5.34. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L6 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L6 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	47

5.35. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L7 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L7 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	48
5.36. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L8 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L8 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	48
5.37. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L9 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L9 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	48
5.38. Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L10 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L10 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	49
5.39. CC de las anomalías de TSM para la región Niño 1+2, a)CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 198-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.	54
5.40. CC de las anomalías de TSM para la región Niño 3, a)CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 198-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.	54
5.41. CC de las anomalías de TSM para la región Niño 3.4, a)CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 198-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.	55
5.42. CC de las anomalías de TSM para la región Niño 4, a)CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 198-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.	55
5.43. ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 1+2, a)CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 198-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.	58

- 5.44. ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 3, a) CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 198-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998. 58
- 5.45. ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 3.4, a) CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 198-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998. 59
- 5.46. ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 4, a) CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 198-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998. 59
- 5.47. CC de las anomalías de TSM para la región Niño 1+2, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010. 65
- 5.48. CC de las anomalías de TSM para la región Niño 3, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010. 66
- 5.49. CC de las anomalías de TSM para la región Niño 3.4, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010. 67
- 5.50. CC de las anomalías de TSM para la región Niño 4, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010. 68

5.51. ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 1+2, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.	73
5.52. ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 3, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.	74
5.53. ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 3.4, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.	75
5.54. ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 4, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.	76
5.55. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L1 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	78
5.56. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L2 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	78
5.57. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L3 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	78
5.58. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L4 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	79
5.59. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L5 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	79

5.60. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L6 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	79
5.61. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L7 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	80
5.62. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L8 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	80
5.63. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L9 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)	80
5.64. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L1 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L1 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	81
5.65. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L2 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L2 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	81
5.66. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L3 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L3 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	81
5.67. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L4 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L4 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	82
5.68. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L5 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L5 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	82
5.69. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L6 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L6 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	82
5.70. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L7 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L7 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	83

5.71. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L8 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L8 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	83
5.72. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L9 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L9 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	83
5.73. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L10 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L10 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)	84
5.74. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L1 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)	86
5.75. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L2 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)	86
5.76. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L3 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)	86
5.77. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L4 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)	87
5.78. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L5 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)	87
5.79. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste es la diferencia de la ANMM de L6 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)	87
5.80. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L7) y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)	88
5.81. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L8 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)	88

5.82. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L9 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)	88
5.83. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L1 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L1 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	89
5.84. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L2 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L2 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	89
5.85. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L3 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L3 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	89
5.86. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L4 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L4 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	90
5.87. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L5 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L5 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	90
5.88. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L6 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L6 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	90
5.89. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L7 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L7 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	91
5.90. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L8 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L8 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	91
5.91. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L9 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L9 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	91
5.92. Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L10 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L10 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)	92

- 5.93. CC de las anomalías de NMM para la región Niño 1+2, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998. 95
- 5.94. CC de las anomalías de NMM para la región Niño 3.4, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2009; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 198-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998. 95
- 5.95. ERCM de la anomalías de NMM para la región Niño 1+2, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998. 98
- 5.96. ERCM de la anomalías de NMM para la región Niño 3.4, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2009; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 198-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998. 98
- 5.97. CC de las anomalías de NMM para la región Niño 1+2, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010. 102
- 5.98. CC de las anomalías de NMM para la región Niño 3.4, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-GODAS para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-GODAS para el periodo 2001-2010. 103
- 5.99. ERCM de las anomalías de NMM para la región Niño 1+2, a) CFSv1-GODAS para el período 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010. 106

5.100	ERCM de las anomalías de NMM para la región Niño 3.4, a) CFSv1-GODAS para el período 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-GODAS para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-GODAS para el periodo 2001-2010.	107
5.101	Serie de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	110
5.102	Serie de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	110
5.103	Serie de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	110
5.104	Serie de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	111
5.105	Serie de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	111
5.106	Serie de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	111
5.107	Serie de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	112
5.108	Serie de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	112
5.109	Serie de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	112
5.110	Serie de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L1 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	113

5.111	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L2 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	113
5.112	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L3 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	113
5.113	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L4 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	114
5.114	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L5 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	114
5.115	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L6 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	114
5.116	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L7 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	115
5.117	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L8 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	115
5.118	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L9 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	115
5.119	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L10 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	116
5.120	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	116
5.121	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	116

5.122	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	117
5.123	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	117
5.124	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	117
5.125	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	118
5.126	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	118
5.127	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	118
5.128	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	119
5.129	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L1 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	119
5.130	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L2 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	119
5.131	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L3 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	120
5.132	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L4 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	120

5.133	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L5 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	120
5.134	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L6 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	121
5.135	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L7 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	121
5.136	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L8 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	121
5.137	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L9 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	122
5.138	Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L10 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	122
5.139	CC de las anomalías de PI15°C para la región Niño 1+2, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.	125
5.140	CC de las anomalías de PI15°C para la región Niño 3.4, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.	125
5.141	ERCM de las API15°C para la región Niño 1+2, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.	128
5.142	ERCM de API15°C para la región Niño 3.4, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.	128

5.143	CC de las anomalías de $PI15^{\circ}C$ para la región Niño 1+2, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.	132
5.144	CC de las anomalías de $PI15^{\circ}C$ para la región Niño 3.4, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-GODAS para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-GODAS para el periodo 2001-2010.	133
5.145	ERCM las anomalías de $PI15^{\circ}C$ para la región Niño 1+2, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.	136
5.146	ERCM las anomalías de $PI15^{\circ}C$ para la región Niño 3.4, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-GODAS para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-GODAS para el periodo 2001-2010.	137
5.147	Serie de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	140
5.148	Serie de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	140
5.149	Serie de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	140
5.150	Serie de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	141
5.151	Serie de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	141

5.152	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	141
5.153	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	142
5.154	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	142
5.155	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)	142
5.156	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L1 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	143
5.157	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L2 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	143
5.158	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L3 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	143
5.159	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L4 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	144
5.160	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L5 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	144
5.161	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L6 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	144
5.162	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L7 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	145

5.163	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L8 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2+ (1983-2010)	145
5.164	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L9 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	145
5.165	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L10 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)	146
5.166	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	146
5.167	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	146
5.168	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	147
5.169	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	147
5.170	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	147
5.171	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	148
5.172	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	148
5.173	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	148

5.174	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)	149
5.175	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L1 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	149
5.176	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L2 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	149
5.177	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L3 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	150
5.178	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L4 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	150
5.179	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L5 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	150
5.180	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L6 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	151
5.181	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L7 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	151
5.182	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L8 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	151
5.183	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L9 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	152
5.184	Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L10 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)	152

5.185	CCn de las anomalías de CCO para la región Niño 1+2, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.	155
5.186	CC de las anomalías de CCO para la región Niño 3.4, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.	155
5.187	RMSE de las anomalías de CCO para la región Niño 1+2, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.	157
5.188	RMSE de CCO para la región Niño 3.4, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.	157
5.189	CC de las anomalías de CCO para la región Niño 1+2, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.	161
5.190	CC de las anomalías de CCO para la región Niño 3.4, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-GODAS para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-GODAS para el periodo 2001-2010.	162
5.191	ERCM de las anomalías de CCO para la región Niño 1+2, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.	165

5.192	ERCM de las anomalías de CCO para la región Niño 3.4, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-GODAS para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-GODAS para el periodo 2001-2010.	166
5.193	CC de las anomalías de CCO y TSM. Figura superior para CFSv1, figura inferior CFSv2	171
5.194	CC de las anomalías de CCO y TSM, considerando 1 mes adicional a la ATSM. Figura superior para CFSv1, figura inferior CFSv2	172
5.195	CC de las anomalías de CCO y TSM, considerando 2 meses adicionales a la ATSM. Figura superior para CFSv1, figura inferior CFSv2	173
5.196	CC de las anomalías de CCO y TSM, considerando 3 meses adicionales a la ATSM. Figura superior para CFSv1, figura inferior CFSv2	174
5.197	CC de las anomalías de CCO y TSM, considerando 4 meses adicionales a la ATSM. Figura superior para CFSv1, figura inferior CFSv2	175

Índice de tablas

1.1. Regiones Este y Oeste del Océano Pacífico Ecuatorial	6
3.1. Resumen de características de los modelo CFSv1 y CFSv2	26

Índice general

Asesores	I
Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Resumen	IV
Abstract	VI
Lista de abreviaturas y siglas	XXXIV
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Objetivo general	4
1.3. Objetivos específicos	5
1.4. Hipótesis	5
2. Fundamento Teórico	7
2.1. Océano Pacífico Ecuatorial	7
2.2. Propiedades Físicas del Océano	8
2.2.1. Temperatura Superficial del Mar	9
2.2.2. Isotermas	9
2.2.3. Termoclina	9
2.2.4. Contenido de Calor	9
2.2.5. Altura del Nivel del Mar	10
2.2.6. Corrientes Marinas	10
2.2.7. Salinidad	11
2.2.8. Surgencia o afloramiento	11

2.2.9. Vientos Alisios	11
2.2.10. Ondas en el Océano	12
2.3. Corriente El Niño, El Niño y la Oscilación Sur	12
2.4. La Niña	14
2.5. El Niño Modoki	14
2.6. Fenómeno El Niño y su impacto en el Perú	15
2.7. Modelos Acoplados para el pronóstico del ENSO	16
2.7.1. El Oscilador Retardado	16
2.7.2. El Oscilador de Carga-Descarga	17
2.8. La Oscilación Decadal del Pacífico ODP	18
3. Modelos Numéricos Climáticos	20
3.1. Introducción	20
3.2. Ecuaciones de la Atmósfera y el Océano	21
3.3. Parametrización	22
3.4. Condiciones iniciales y de frontera	23
3.5. Errores y validación de los modelos.	23
3.6. Barrera de Predictibilidad	23
3.7. Modelo Climate Forecast System (CFS)	24
4. Metodología	27
4.1. Área de Estudio	27
4.2. Datos de pronósticos y datos observados	27
4.3. Procesamiento de datos con herramientas estadísticas.	28
4.3.1. Correlación (r)	29
4.3.2. Raíz del error medio cuadrático (RMSE)	29
5. Resultados y Discusión	31
5.1. Análisis de series de tiempo de ATSM para los próstico de CFS y datos observados en la regiones Niño 1+2 y Niño 3.4	31
5.2. Coeficiente de correlación de los pronósticos de (CFS) y datos observados	50
5.2.1. Coeficientes de correlación (CC) de la ATSM pronosti- cada (CFS) y datos observados para las regiones Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4	50
5.3. Error de raíz cuadrada media ERCM	56

5.3.1. Error de raíz cuadrada media ERMC entre las ATSM de CFS y ATSM observada.	56
5.4. Coeficientes de correlación (CC) entre ATSM pronosticada (CFS) y observada (OISST-v2) por periodos.	60
5.5. Error de raíz cuadrada media entre ATSM pronosticada CFS y observada OISSTv2 por periodos	69
5.6. Análisis de series de tiempo con datos de pronóstico de CFS y datos observados de ANMM en la regiones Niño 1+2 y Niño 3.4	77
5.7. Coeficientes de Correlación (CC) del ANMM de CFS y ANMM de GODAS	93
5.8. Error de Raíz Cuadrada Media (ERCM) de ANMM pronosticado (CFS) y observado (GODAS)	96
5.9. Coeficientes de correlación entre ANMM pronosticada (CFS) y observada (GODAS) por periodos.	99
5.10. Error de raíz cuadrada media (ERCM) de ANMM pronosticada CFSv1 y observada (GODAS) por periodos.	104
5.11. Análisis de series de tiempo de API15°C con datos de pronóstico de CFS y datos observados de GODAS en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4	108
5.12. Coeficientes de correlación de API15°C pronosticada (CFS) y observada (GODAS)	123
5.13. Error de raíz cuadrada media (ERCM) de la API15°C pronosticada (CFS) y observada (GODAS).	126
5.14. Coeficiente de correlación (CC) de API15°C pronosticada (CFS) y observada (GODAS) por periodos.	129
5.15. Error de raíz cuadrada media (ERCM) de API15°C pronosticada (CFS) y observada (GODAS) por periodos	134
5.16. Análisis de series de tiempo con datos de pronóstico de (CFS) y datos de observados de CCO en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4.	138
5.17. Coeficientes de correlación de anomalías de CCO pronosticada (CFS) y observada (GODAS) en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4.	153
5.18. Error de raíz cuadrada media de anomalías (ERCM)de CCO pronosticada (CFS) y observada (GODAS).	156

5.19. Coeficientes de correlación (CC) de ACCO pronosticada (CFS) y observada (GODAS) por periodos.	158
5.20. Error de la raíz cuadrar media (ERCM) de las ACCO pronos- ticada (CFS) y observado (GODAS) por periodos.	163
5.21. Carga y descarga de un oscilador	167
6. Conclusiones	176
7. Recomendaciones	178
Bibliografía	179

Lista de abreviaturas y siglas

NMM	-	Nivel Medio de Mar
BCIT	-	Banda de Convergencia Intertropical
CCO	-	Contenido de Calor en el Océano
CFS	-	Climate Forecast System
CFS-R	-	Climate Forecast System Reanalysis
CPC	-	Climate Prediction Center
ENOS	-	El Niño Oscilación del Sur
FEN	-	Fenómeno El Niño
GODAS	-	Global Ocean Data Assimilation System
IGP	-	Instituto Geofísico del Perú
IRI	-	International Research Institute for Climate and Society
MEF	-	Ministerio de Economía y Finanzas
NCEP	-	National Centers for Environmental Prediction
NOAA	-	National Oceanic and Atmospheric Administration
MOM	-	Modular Oceanic Model
NWS	-	National Weather Service
OP	-	Océano Pacífico
OPE	-	Océano Pacífico Ecuatorial
PBI	-	Producto Bruto Interno
PI15°C	-	Profundidad de la Isoterma de 15°C
TAO	-	Tropical Atmosphere Ocean
TSM	-	Temperatura Superficial del Mar
ZCIT	-	Zona de Convergencia Inter-Tropical

Capítulo 1

Introducción

El Niño-Oscilación Sur (ENOS) es un fenómeno climático que se manifiesta con alteraciones en el comportamiento de las variables oceanográficas y meteorológicas, las más significativas son las Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM) en el océano Pacífico ecuatorial central y oriental, cambios en la presión atmosférica a nivel del mar en la cuenca del océano Pacífico, estas dos alteraciones combinadas se conocen como ENOS (Philander, 1989), otras variables que se alteran, son la variación de la altura del nivel medio de mar en el Océano Pacífico Ecuatorial (OPE), variación de la profundidad de las isotermas del océano Pacífico oriental.

Este fenómeno climático genera impactos en todo el planeta y el Perú es uno de los países más afectados durante el evento climático ENOS, la fase cálida es conocida como Fenómeno El Niño (FEN) (Carranza, 1891), se manifiesta principalmente por el incremento de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) por encima del promedio, en el océano Pacífico ecuatorial oriental, generando intensas precipitaciones en la costa norte del Perú, mientras que en la sierra central y sur se manifiestan sequías (Lagos et al., 2008; Lavado-Casimiro and Espinoza, 2014). La fase fría del (ENOS) conocida como La Niña (Philander, 1989) se caracteriza por presentar TSM más fría generando condiciones aproximadamente opuestas a las observadas en el Fenómeno Niño. En este trabajo se recurre a las dos versiones del modelo numérico acoplado *Climate Forecast System* (CFS) del *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), en español, Sistema de Pronóstico Climático del Centro Nacional de Predicción Ambiental; que es utilizado para la predicción del comportamiento del océano y la atmósfera, cuya interrelación es clave para el ENOS. La primera

versión del modelo CFSv1 (Saha et al., 2006) realiza corridas de hasta 9 leads de duración, por lo que podemos contar con pronósticos de hasta 8 meses de duración, ya que el lead 1 corresponde al tiempo de las condiciones iniciales. Mientras que para la segunda versión del modelo CFSv2 (Saha et al., 2014) realiza corridas de hasta 10 leads de duración, entonces se cuenta con pronósticos de 9 meses. Se analiza los resultados de los pronósticos (CFSv1 y CFSv2) para las anomalías de temperatura superficial del mar (ATSM) en la región Niño1+2, la cual se encuentra frente a la costa norte de Perú y sur de Ecuador, también se evalúa los resultados de los pronósticos de las ATSM para las regiones Niño3, Niño3.4 y Niño4 (ver Figura 1.1) para ser comparados con la región Niño1+2, motivados por la posible existencia de un nuevo tipo de evento, el denominado “El Niño Modoki” (Ashok et al., 2007) que se presenta con el incremento de la TSM en el Pacífico ecuatorial central, mas no en la costa norte de Perú. Se puede decir que este Niño Modoki es casi desapercibido en la región Niño 1+2. En este trabajo, también se analizará los pronósticos de las variables oceánicas, Nivel Medio del Mar (NMM), Profundidad de la Isoterma de 15°C (PI15°C) y el Contenido Calor en el Océano (CCO), además se hace correlaciones desfasadas de anomalías de CCO con los datos de ATSM para las regiones este y oeste de océano Pacífico ecuatorial (Tabla 1.1). Los autores (Burgers G. and van Oldenborgh, 2005; Wyrтки, 1975) describen las relaciones entre el CCO, la TSM y el esfuerzo del viento zonal en su teoría “Recarga Oscilador” del ENOS. Recientes estudios de la variabilidad oceánica y atmosférica han confirmado estas relaciones y dio detalles sobre sus implicaciones para la comprensión de la dinámica del ciclo ENOS (Kessler, 2002; Meinen and McPhaden, 2000; Trenberth et al., 2002).

1.1. Antecedentes

La mayor parte del año las aguas oceánicas costeras del Perú son frías y son trasladadas de sur a norte por la corriente de Humboldt, sin embargo, frente a la costa norte del Perú en los meses finales de año, el agua se hace cálida y una corriente va de norte a sur. Desde finales del siglo XX los pescadores de Paíta en la región Piura han llamado a esta corriente cálida “ La Corriente de El Niño” (del Niño Jesús), por presentarse cerca a la fecha de navidad. El Presidente de la sociedad Geográfica de Lima publicó un artículo (Carranza, 1891)

para el boletín de dicha institución, llamando la atención sobre el hecho de que una contra corriente que fluye de norte a sur se había observado de Paita a Pacasmayo en la costa norte de Perú. Ese año la tibia corriente de El Niño fue inusualmente fuerte durando más de unos pocos meses y fue simultánea con intensas lluvias en el desierto costero, por lo cual semanas después el desierto fue cubierto por densos pastizales. Otros autores también documentaron (Carrillo, 1892; Eguiguren, 1894) la anomalía en el océano mencionando el cambio en el clima regional fundamentalmente con la precipitación en la costa norte peruana.

La presencia del fenómeno El Niño genera alteraciones climáticas en varias regiones del planeta, cuando se incrementa la TSM en Océano Pacífico Ecuatorial (OPE) central se presenta intensas lluvias en algunas regiones, como por ejemplo los estados de la costa oeste de Estados Unidos, mientras que en otras regiones se presentan sequias, como en el norte Australia (Ropelewski, 1992). Científicos con interés en el estudio del fenómeno El Niño le dieron más importancia a los pronósticos climáticos después del fenómeno El Niño extraordinario de los años 1982-1983 (Takahashi, 2014). Entre los pronósticos exitosos destacó el de Stephen Zebiak y Mark Cane del observatorio terrestre Lamont-Doherty de la universidad de Columbia. En los inicios del año de 1986 Cane y Zebiak publicaron sus pronósticos de un inminente periodo de El Niño para el año 1986 y 1987. Su metodología consistió en el uso de un modelo acoplado (océano y atmósfera) centrado en el OPE (Zebiak and Cane, 1987). En los primeros meses del año 1991, Cane y Zebiak usando su modelo oceánico impulsado por el viento, predijeron el inicio de un evento Niño para fines de 1991, por lo cual volvieron a acertar con su modelo.

El Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos (National Water Service, NWS en inglés) en el año 1995 creó un programa para producir pronósticos a largo plazo. A través de observaciones y una serie de métodos, el NWS emite pronósticos para cada mes, teniendo como máximo 15 meses a futuro. Sin embargo los resultados no fueron tan exitosos, ya que escogió una época difícil para pronosticar a largo plazo, a la mitad de un inusual comportamiento de las ATSM en el OPE. El Niño que se desarrolló a finales de 1994 llegó de sorpresa, el modelo NWS no lo pronosticó hasta finales del invierno austral (Kerr, 1994).

La predicción numérica del clima han mejorado desde 1980 y son la herra-

mienta de elección hoy para en día para el pronóstico del tiempo global. Es importante el reciente desarrollo y mejora de modelos que simulan las interacciones entre el océano y la atmósfera. Los estudios realizados con estos modelos revelan que las interacciones pueden apoyar los modos de oscilación del sistema acoplado océano-atmósfera. Estos modos se asocian principalmente a las fluctuaciones interanuales entre la fase cálida y fría de El Niño, La Niña y las variaciones correspondientes en la Oscilación del Sur.

Estudios recientes han mostrado que el patrón convencional de El Niño, caracterizado por una lengua cálida de agua a lo largo del Pacífico oriental tropical, se está volviendo menos frecuente. Un nuevo tipo de El Niño, caracterizado por una región de océano cálido con forma de herradura en el Pacífico central flanqueada por aguas inusualmente frías, se ha vuelto progresivamente más común. El nuevo Niño ha sido denominado “Modoki” (Ashok et al., 2007), un término japonés que significa “similar, pero diferente”.

En el año 2009, un grupo de investigadores (Yeh et al., 2009), analizaron un conjunto de modelos climáticos para evaluar con que frecuencia este nuevo fenómeno climático se producía en comparación con el tipo convencional de El Niño bajo varios escenarios de calentamiento global. Los resultados muestran que se espera que el “Modoki” sea cinco veces más frecuente avanzado el siglo XXI. Los autores concluyen que tal frecuencia de episodios de El Niño en el Pacífico central podría influir de forma especial sobre el clima global y conducir a mayores sequías en la India y Australia.

Hoy en día el Fenómeno de El Niño (FEN), es un tema de interés para el mejoramiento de los pronósticos de los modelos climáticos, el FEN es un tema de intenso estudio debido a su presencia activa en las anomalías climáticas que afectan a casi todo el planeta. En el Perú, el impacto de los eventos severos de 1982-83 y 1997-98 produjeron pérdidas económicas de 11.6% y 6.2% del PBI, respectivamente (MEF, 2011).

1.2. Objetivo general

Evaluar la predicción de las Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM), realizada por el modelo CFS en sus dos versiones, frente a la costa de Sudamérica usando técnicas estadísticas simples.

1.3. Objetivos específicos

- Validar el pronóstico de las anomalías de TSM del modelo numérico climático CFS en las regiones Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4.
- Evaluar otras variables climáticas (CCO, PI15°C, NMM) como posibles predictores para la mejora del pronóstico de TSM.
- Evaluar los posibles cambios temporales en la performance del modelo CFS y analizar las posibles causas de estos cambios.

1.4. Hipótesis

- Es posible que el pronóstico de las dos versiones del modelo CFS sea mejor para las región central del océano Pacífico central, comparada con la región este del Pacífico ecuatorial probablemente debido a la proximidad al continente o por otras condiciones.
- El modelo CFS tiene otras variables o indicadores oceanográficos que nos pueden ayudar en la predicción de la anomalía de TSM, los coeficientes de correlación de anomalía de TSM (SST) con anomalías de NMM, CCO y PI15°C y es probable que nos ayude en la estimación de datos diferentes a los que se espera.

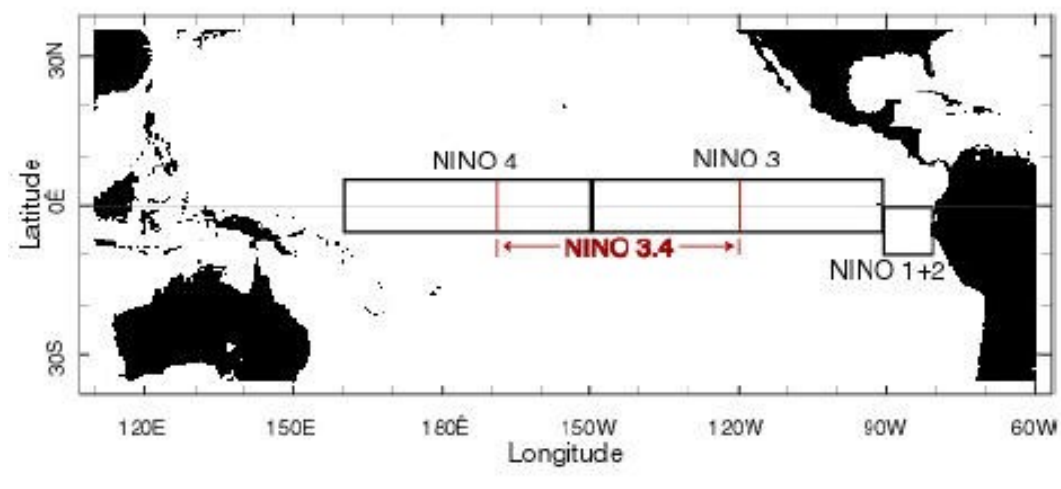


Figura 1.1: Regiones El Niño en el Océano Pacífico Ecuatorial. (Fuente: NOAA)

Tabla 1.1: Regiones Este y Oeste del Océano Pacífico Ecuatorial

Región	Latitud	Longitud
Pacífico	5°N a 5°S	120°E a 80°W
Pacífico Oeste	5°N a 5°S	120°E a 155°W
Pacífico Este	5°N a 5°S	155°W a 80°W

También se hace el estudio de la TSM desde la superficie hasta una profundidad determinada con ello se determina el contenido de calor en el océano.

Capítulo 2

Fundamento Teórico

Debido a que durante el fenómeno El Niño existe una fuerte interacción entre el océano y la atmósfera, en este capítulo se hará la descripción de las variables que actúan durante el evento.

2.1. Océano Pacífico Ecuatorial

Los procesos ecuatoriales son el centro de comprensión de la influencia del océano en la atmósfera, y dominan las fluctuaciones interanuales en los patrones climáticos globales.

Las regiones ecuatoriales del océano reciben gran cantidad de calor proveniente de la radiación solar es por ello su importancia para el clima de la tierra como fuente de la evaporación del agua. Cuando el agua se condensa en forma de lluvia libera tanto calor que estas áreas son el motor principal que impulsa la circulación atmosférica (Glantz, 1996). El Océano Pacífico Ecuatorial (OPE) es la mayor superficie del océano antes que el océano ecuatorial Índico y Atlántico. La ubicación geográfica del OPE se encuentra entre los meridianos de 120°E a 80W° y en los paralelos 10°S a 10°N es equivalente a una superficie de 160° por 20°.

La fuente de energía para las corrientes oceánicas ecuatoriales son los vientos alisios que son fuertes y constantes, imparten gran energía en el OPE a través de la fuerza del esfuerzo del viento. La fuerza de los alisios del hemisferio sur es superior a los alisios del hemisferio norte. Los vientos alisios del sureste

(SE) y del noreste (NE) confluyen en una región llamada zona de convergencia intertropical (ZCIT) que es una franja de baja presiones ubicada en la zona ecuatorial de todo el planeta, a causa de altas temperaturas las masas de aire son forzadas a ascender hasta la troposfera superior originando abundante nubosidad y fuertes precipitaciones. La ZCIT se encuentra cerca del ecuador pero su posición varía significativamente, una de las causas es la variación estacional. Durante el verano austral los vientos alisios del NE son dominantes en toda la región norte del ecuador, mientras que durante el verano boreal los vientos alisios del SE penetran en el hemisferio norte hasta los 11°N aproximadamente (Waliser and Gautier, 1993), por lo tanto, la ZCIT se desplaza al norte del ecuador en el verano boreal y al sur del ecuador en el verano austral, vale decir que este desplazamiento es menor al anterior.

El OPE tiene una capa superficial de agua cálida sobre aguas más profundas y frías, la TSM es más cálida en el oeste debido a la acumulación de las aguas calentadas por la radiación solar que son arrastradas por la Corriente Ecuatorial, la TSM en el este del océano Pacífico es menor debido a la incursión de aguas sub-superficiales frías, provocada por la divergencia superficial generada por los vientos alisios (Wyrski, 1963).

La capa de mezcla (es una capa superficial del océano en donde sus propiedades físicas, temperatura, densidad, salinidad y presión permanecen aproximadamente constantes con la profundidad) es profunda en el oeste y poco profunda en el este, en la estructura vertical del océano Pacífico ecuatorial se genera una disminución de la profundidad de las isotermas en la dirección Oeste-Este.

2.2. Propiedades Físicas del Océano

El agua de mar es una solución de sales, sus propiedades físicas varían de acuerdo con la cantidad de sales que contenga. El agua constituye el 96.5% de la masa del océano, los otros 3.5% lo constituyen partículas en suspensión y sales disueltas. Entre las principales propiedades físicas tenemos:

2.2.1. Temperatura Superficial del Mar

Es un parámetro muy importante y uno de los más fáciles de medir (Pickard and Emery, 1990). Las variaciones de la TSM están relacionadas, fundamentalmente, con la absorción de la radiación solar, la circulación atmosférica, las corrientes superficiales, los afloramientos costeros, los hundimientos y movimientos advectivos. El conocimiento actual de la TSM y sus variaciones a escalas estacionales e interanuales contribuye a la predicción de las condiciones del océano, y en particular, de los fenómenos El Niño y La Niña.

2.2.2. Isotermas

Se le llama a la línea que tiene el mismo valor de temperatura o temperatura constante en el mismo tiempo en el océano o en la atmósfera.

2.2.3. Termoclina

El océano Pacífico, a grandes rasgos, se caracteriza por: 1) una capa somera, la cual es cálida y homogénea; 2) otra profunda, fría y estratificada; y 3) un nivel de transición entre éstas, la que se denominada termoclina: Esta última región tiene la particularidad de mostrar un cambio brusco de la temperatura con la profundidad, por lo que la estratificación es intensa (Glantz, 1996). En el Pacífico ecuatorial occidental, la termoclina se encuentra aproximadamente a 200 metros de profundidad, asociado a una acumulación de aguas cálidas en ese sector, mientras que en el Pacífico ecuatorial oriental, la termoclina se encuentra a poco menos de 50 metros de profundidad debido a la surgencia.

2.2.4. Contenido de Calor

Es la integración vertical de la temperatura del océano desde la superficie hasta una profundidad determinada (en inglés, oceanheat OH) se calcula a partir del modelo derivado vertical de perfiles de temperatura utilizando la ecuación:

$$CCO = \rho C_p \int_0^z T dz \quad (2.1)$$

Donde ρ es la densidad del agua de mar 1027 kg m^{-3} , C_p es el calor específico a presión constante $4181 \text{ J/}^\circ\text{K}\text{-kg}$, T es la temperatura en cada nivel de profundidad (unidades Kelvin), z es la profundidad. En nuestro caso, la integración se realiza para la capa superficial de 300 m de profundidad.

2.2.5. Altura del Nivel del Mar

La altura del mar o nivel medio del mar es el promedio de la medición de los pleamares y bajamares de planeta. En el presente trabajo, esta variable es de interés para ver el incremento y la disminución del nivel del mar en el océano Pacífico este y oeste durante el evento El Niño, también es importante para evaluar el nivel del mar del como consecuencia del calentamiento global.

2.2.6. Corrientes Marinas

Son masas de agua con desplazamientos propios dentro de los océanos con profundidades diversas y con determinadas direcciones. Se generan por diferencias de temperatura y salinidad entre masas de agua, los vientos, rotación de la tierra, etc. En el océano Pacífico ecuatorial encontramos la corriente No-recuatorial, que está al oeste entre 10° y 20° de latitud norte, que transporta el agua desde continente americano hasta Asia, y que forma el brazo sur del vórtice. La corriente de Japón o de Kuroshio, empieza en Taiwan y corre a lo largo de Japón, en dirección noreste. La corriente de California deriva de la corriente del Pacífico Norte y se dirige hacia el sur. Al venir del norte, sus aguas son relativamente frías si las comparamos con las de la costa este de los Estados Unidos. Además, se producen surgencias (upwelling) de aguas más profundas y frías, debidas a los vientos dominantes del nordeste y a las fuerzas de Coriolis, que traen a la superficie sedimentos ricos en nutrientes. La corriente Surecuatorial, que fluye de este a oeste entre los 5° de latitud norte y los 20° de latitud sur. Al llegar a las costas australianas toma dirección sur, formando la corriente del Este de Australia.

La corriente del Perú o corriente de Humboldt es una corriente de agua fría que recorre las costas de Chile y de Perú (Glantz, 1996), en dirección noroeste, dirigiéndose hacia el ecuador. Es una de las mayores surgencias (upwellings) oceánicas, lo que, como en el caso de la corriente de California, aporta muchos nutrientes y permite mantener una abundancia extraordinaria de vida marina.

Esta surgencia ocurre todo el año en las costas del Perú, pero solamente durante la primavera y el verano al norte de Chile, debido al desplazamiento del centro de las altas presiones subtropicales durante el verano. Periódicamente, esta surgencia se ve interrumpida por el fenómeno de El Niño. La corriente de Humboldt tiene una considerable influencia en el clima de Perú y de Chile, limita la evaporación de las aguas, teniendo como consecuencia la aridez del norte de Chile y de las zonas costeras de Perú .

La contracorriente ecuatorial fluye de oeste a este a unos 5° de latitud norte. Es el resultado del balance de las corrientes Norecuatorial y Surecuatorial, que transportan agua hacia el oeste. Esta contracorriente ecuatorial se intensifica durante los años del fenómeno El Niño.

2.2.7. Salinidad

La salinidad es la cantidad total de material disuelto en gramos en un kilogramo de agua de mar, así la salinidad es una cantidad adimensional. En término medio la salinidad durante gran parte del agua de los océanos es de 34,60 a 35 partes por cada kilo de agua, el último valor típico en mar abierto (Perianez, 2010) . El incremento de la temperatura del mar genera la evaporación y finalmente la salinidad se incrementa caso opuesto ocurre en las regiones próximas a desembocaduras de ríos o zonas del océano donde recibe lluvias.

2.2.8. Surgencia o afloramiento

Wyrki precisó la definición de afloramiento como un movimiento ascendente, mediante el cual las aguas, procedentes de capas subsuperficiales, son llevadas a la superficie del mar y alejadas del área mediante flujos horizontales (Wyrki, 1963). Esta agua fría se caracteriza por ser rica en nutrientes, la cual es aprovechada por especies las marinas.

2.2.9. Vientos Alisios

Son vientos superficiales que soplan sobre el océano en cada uno de los hemisferios, en las zonas tropicales hacia el ecuador (0° a 30° de latitud). En condiciones normales, la presión atmosférica en el ecuador es inferior a la de

los trópicos y por tanto, el aire tiende a circular de norte a sur (en el hemisferio norte) y de sur a norte (en el hemisferio sur), al combinarse con la rotación de la Tierra, la dirección resultante en que soplan es de noreste a suroeste en el hemisferio norte, y de sureste a noroeste en el hemisferio sur (Glantz, 1996).

2.2.10. Ondas en el Océano

Las ondas que se encuentran por debajo de la superficie del océano, son denominadas ondas internas, durante los eventos Niño se hace el estudio de las ondas Kelvin y las Onda Rossby. Las ondas Kelvin se originan por los vientos que soplan sobre la superficie del océano desde el occidente a lo largo del ecuador. Antes que se desarrolle un evento cálido, los vientos alisios se debilitan sobre el Pacífico ecuatorial, generando ondas Kelvin que provocan el descenso de la termoclina entre 20 y 30 metros aproximadamente en su propagación e incremento del nivel del mar en el OP oriental. La onda Kelvin tarda entre dos meses y medio y tres meses en recorrer la cuenca del Pacífico (Cane, 1986), al llegar a la costa de Sudamérica, genera las ondas Kelvin costeras que se propagan al norte y al sur del continente. La teoría lineal indica que cuando una Onda Kelvin incide en el límite oriental, su reflexión está compuesta de la suma de un número infinito de ondas, llamadas ondas de Rossby (Cane, 1986), que dependen de su latitud, las más rápidas son las que se propagan cerca al ecuador con una velocidad tres veces menor que las ondas Kelvin.

2.3. Corriente El Niño, El Niño y la Oscilación Sur

Inicialmente el término El Niño se utilizó para nombrar una corriente marina de aguas cálidas que se desplazaba de norte a sur frente a las costas ecuatorianas y peruanas (Carranza, 1891; Glantz, 1996; Voituriez, 2000). El término tiene muchos siglos de utilizarse, prácticamente desde 1578. Posteriormente, la comunidad científica internacional se percató de que en ciertas ocasiones el calentamiento no ocurría únicamente frente a las costas peruanas, sino que se producía sobre una gran extensión del océano Pacífico ecuatorial, fenómeno al que se le denominó El Niño, en su acepción contemporánea. Actualmente El Niño se refiere a este calentamiento de gran escala que se produce en el océano

Pacífico más que a la corriente marina cálida que anualmente aparece frente a las costas del Perú y del Ecuador. Los primeros intentos por entender; la variabilidad del clima se dio a finales del siglo XIX. Sir Gilbert Walker se convirtió en el Director General del Observatorio en la India en 1904, poco después de la hambruna de 1899, como consecuencia de la ausencia de los monzones. Walker llegó a la India para predecir las variaciones interanuales de los monzones, una actividad iniciada por sus predecesores después de la sequía catastrófica y la hambruna de 1877. Es muy probable que Walker no tendría idea que tanto 1877 y 1899 eran años de abundancia de la costa del Perú, Walker no tendría conocimiento acerca de El Niño pero, sabía de las pruebas de las fluctuaciones de la presión en el océano Índico y el Pacífico central oriental, es decir las observaciones mostraron que en el año en que la presión en superficie en Australia era en promedio mas baja que lo normal, en el océano Pacífico central era mas alta que lo normal. Este ascenso y descenso de presión con periodos de dos a cuatro años, se denominó Oscilación del Sur (Philander, 1989). La propuesta de una relación física entre las variaciones interanuales oceanográficas y meteorológicas en el Pacífico tropical (Bjerknes, 1969), explicó cómo el aire seco impacta en el agua fría del Pacífico tropical oriental, y fluye hacia el oeste a lo largo del ecuador, como parte de los vientos alisios. El aire es calentado y humedecido mientras se propaga hacia el occidente del OP tropical, ya que se propaga sobre agua cálida, donde se levanta imponente en las nubes de lluvia. El flujo de retorno en la tropósfera superior cierra esta celda, denominada circulación de Walker (Bjerknes, 1969), el gradiente de temperatura en la superficie del mar (el agua fría frente a Perú y el agua caliente en el occidente del Pacífico tropical) son necesarias para el gradiente de presión atmosférica que conducen la circulación de Walker. Un calentamiento de la región oriental tropical del océano Pacífico se debilita la circulación de Walker y las causas de la convección zonal de fuertes lluvias al moverse hacia el este, desde el oeste hacia el centro y oriente del Pacífico tropical. En otras palabras, la Oscilación del Sur es causada por las variaciones interanuales de temperatura superficial del mar de la zona del Pacífico tropical. Recientes cálculos realistas con modelos de circulación general de la atmósfera lo confirman (Philander, 1989). Posteriormente se encontró que la ocurrencia del fenómeno ENOS no se limitaba a las regiones tropicales del océano Pacífico, sino que podían afectar el clima de regiones distantes llamando a estos cambios Teleconexiones (Flohn

and Fleer, 1975).

2.4. La Niña

El fenómeno la Niña (Philander, 1989) toma ese nombre porque manifiesta condiciones opuestas al FEN, suele ir acompañado del descenso de las temperaturas y aumento de la presión a nivel del mar junto a las costas de América del sur, los vientos alisios se intensifican frente a la costa oeste de sudamérica, acumulando aguas cálidas en el oeste del OP, provocando el fortalecimiento de la surgencia frente a las costas de Ecuador, Perú y norte de Chile, como consecuencia la Niña provoca ausencia de lluvias en la costa norte del Perú y lluvias en la sierra central y sur del Perú (Lagos et al., 2008; Lavado-Casimiro and Espinoza, 2014).

La figura 2.1 a) muestra algunas de las características oceánicas y atmosféricas del fenómeno de El Niño: las precipitaciones se desplazan hacia el centro del océano. En condiciones normales, Figura 2.1 b) las precipitaciones se producen sobre Indonesia. En la figura 2.1 c), se observa intensificación de los vientos alisios (dirección oeste), la termoclina más superficial y las precipitaciones al oeste de Indonesia.

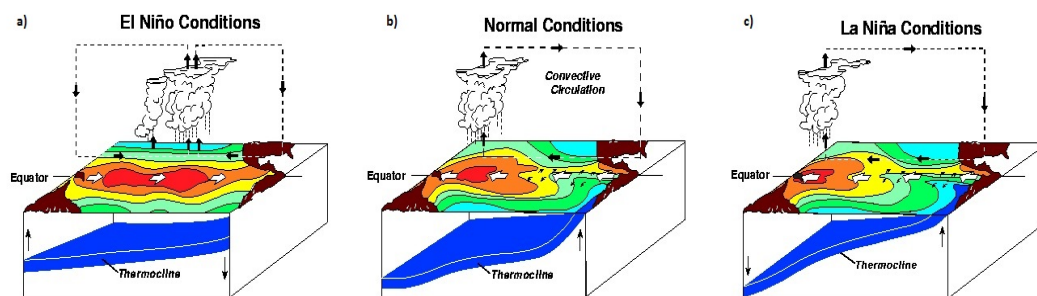


Figura 2.1: a) Condiciones El Niño, b) Condiciones normales, c) Condiciones La Niña. (Fuente: NOAA)

2.5. El Niño Modoki

La existencia de un nuevo tipo de evento, denominado El Niño Modoki (Ashok et al., 2007) que se representa con el incremento de la TSM en el océano pacífico ecuatorial central, más no en la costa de Perú. Se puede decir

que este tipo de Niño es casi desapercibido en la región Niño 1+2 y se ha vuelto común desde el año 1999, Modoki es una palabra japonesa que significa “similar pero diferente”

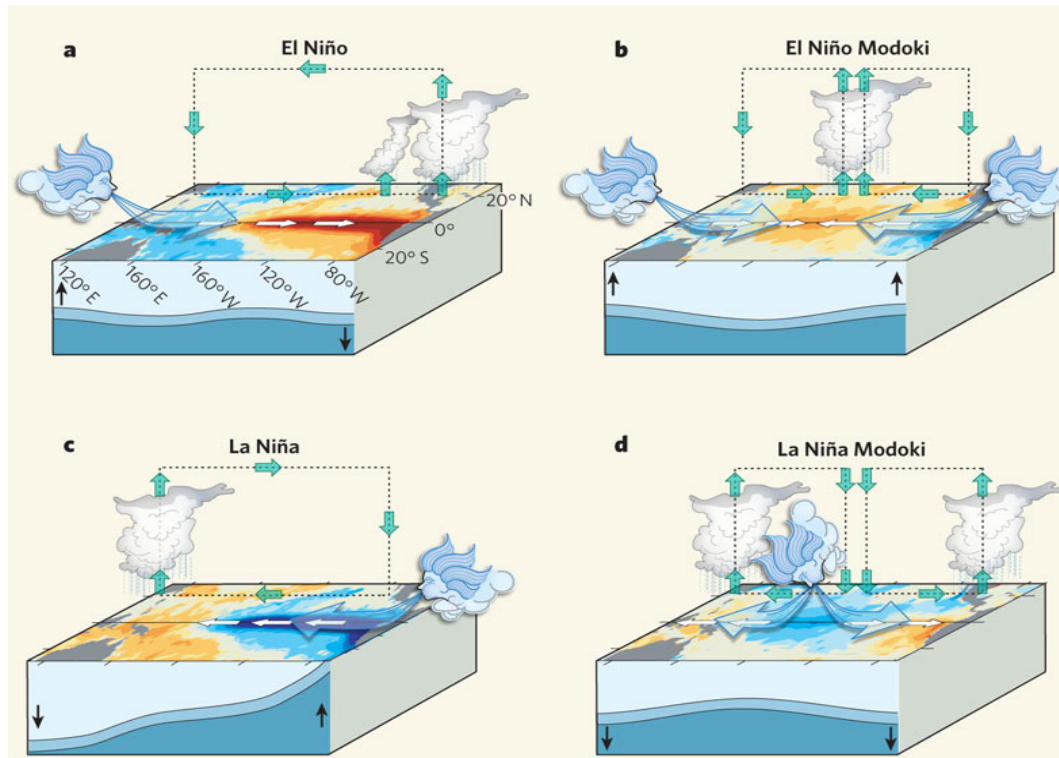


Figura 2.2: a) Condiciones El Niño, b) Condiciones El Niño Modoki, c) Condiciones La Niña, d) Condiciones La Niña Modoki. (Fuente: Ashok and Yamagata 2009)

2.6. Fenómeno El Niño y su impacto en el Perú

Durante la presencia de aguas anormalmente calientes en el Pacífico tropical asociadas al fenómeno de “El Niño”, el efecto del mar en la atmósfera es más evidente. La estructura térmica en la capa de inversión cambia notablemente. Cuando la temperatura superficial del mar supera los 25.5°C , la capa de inversión se debilita completamente y la atmósfera pasa a una condición casi inestable (Woodman, 1999).

Otros efectos de “El Niño”, en la atmósfera como se verá más adelante, son las excesivas lluvias en algunas regiones de nuestro planeta y sequías en otras. Las grandes precipitaciones que se han observado en el norte del Perú a

comienzos de 1983, por ejemplo, se deben a la presencia de altas temperaturas en el mar, al desplazamiento hacia el ecuador de la Banda de Convergencia Intertropical (BCIT) (banda de nubes que se extiende paralelamente y al norte del ecuador) y al debilitarse de la circulación ecuatorial de Walker. El desplazamiento de la BCIT afecta la distribución latitudinal de las áreas de precipitación, dando como resultado áreas con exceso de precipitación y áreas con sequías.

2.7. Modelos Acoplados para el pronóstico del ENSO

En las últimas tres décadas se han desarrollado un gran número de modelos acoplados (Océano-Tierra-Atmósfera) para entender y predecir el ENSO. Estos modelos van desde los más simples a los más complejos: los primeros usualmente involucran una o dos variables dependientes y describen la física básica del ENSO (por ejemplo los modelos del Oscilador Retardado y del Oscilador Carga-Descarga). Un nivel más complejo son los modelos dinámicos, que consisten de un modelo de circulación general del océano acoplado a un modelo de circulación general atmosférico. Zebiak y Cane en 1987 presentaron el primer modelo acoplado para explicar las regiones de precipitación persistente sobre las aguas más calidas, los vientos superficiales provenientes del oeste al este, los procesos que cambian la TSM en la capa superficial del océano y los efectos de los vientos sobre la profundidad de la termoclina.

2.7.1. El Oscilador Retardado

La teoría del Oscilador Retardado fue propuesta por (Battisti and Hirst, 1989; Suarez and Schopf, 1988). Si las anomalías positivas del viento persisten por varios meses (vientos del oeste) sobre el OPE y las anomalías de los vientos de este se debilitan (vientos alisios), una sucesión de intensas ondas Kelvin se propagan hacia el este coincidiendo con el movimiento de las ondas Rossby que viajan hacia el oeste. La serie de ondas de Kelvin lleva al calentamiento anómalo del Pacífico central y oriental, además de sumergir la termoclina en el este. Al llegar las ondas de Kelvin a las costas americanas se reflejan en ondas de Rossby ascendentes que se extienden a lo largo de la costa y se desplazan

hacia el oeste a ambos lados del ecuador.

Las ondas de Rossby que se propagan hacia el oeste a menos de 10 grados del ecuador constituyen el modo de Rossby más rápido y crean una termoclina menos profunda en el oeste. Las ondas de Rossby de movimiento lento rebotan en la frontera occidental (el continente marítimo) y se propagan hacia el este en forma de ondas de Kelvin de afloramiento que elevan la termoclina en el océano oriental. Una onda de Rossby oceánica tarda aproximadamente ocho meses en atravesar el Pacífico. Por lo tanto, el ciclo oscilatorio invertirá el calentamiento inicial de la superficie del mar aproximadamente seis meses después de su comienzo. Son estas ondas las que permiten la retroalimentación negativa que provoca los cambios entre una fase cálida y una fría.

Esta oscilación muestra la alternancia de la fase fría y cálida relacionando con el ciclo del ENOS.

Sin embargo, oscilaciones directas realizadas durante El Niño 1997-1998 en el OPE, no mostraron que ondas de Kelvin de subsidencia, generadas por la reflexión de ondas de Rossby, hayan dado inicio a este evento.

2.7.2. El Oscilador de Carga-Descarga

Este modelo conceptual fue propuesto por (Jin, 1997) donde explica las fases de decaimiento de los eventos El Niño y La Niña. Para el caso de los eventos El Niño son el resultado de la ganancia de calor en la capa de mezcla del OPE. El proceso de recarga, a partir de la convergencia anómala de agua hacia el Pacífico Ecuatorial (PE), sería el responsable de terminar un evento La Niña, preparando la condición para un evento El Niño. Mientras que para los eventos Niña ocurren condiciones opuestas a las mencionadas, se inicia con la pérdida de calor en la capa de mezcla del OPE. El proceso de descarga, a partir de la divergencia anómala de agua desde el PE, sería responsable de terminar un evento Niño. De esta manera, las anomalías del volumen de contenido de calor (VCC), o profundidad de la termoclina ecuatorial, presentan una relación de cuadratura con las anomalías de la TSM en el Pacífico Ecuatorial Central (Región Niño 3).

2.8. La Oscilación Decadal del Pacífico ODP

La Oscilación Decadal el Pacífico ODP (Pacific Decadal Oscillation PDO por sus siglas en inglés) es descrito como un patrón de la temperatura en el océano Pacífico principalmente en el Pacífico Norte, comparando con El Niño Oscilación del Sur (ENOS) que afecta al Pacífico Tropical y con menor tiempo de fluctuaciones. Como se ha visto con lo más conocido del ENOS, los extremos en el patrón ODP están marcados por las variaciones generalizadas en la cuenca del Pacífico y el clima de América del Norte (Mantua and Hare, 2002). En paralelo con el fenómeno ENOS, las fases extremas de la ODP se han clasificado como cálidas y frías, según la definición de anomalías de la temperatura del océano en el noreste y el Océano Pacífico tropical. Cuando la TSM es anormalmente frío en el interior del norte del Pacífico y cálido a lo largo de la costa del Pacífico, y cuando las presiones del nivel del mar son inferiores a la media en el Pacífico Norte, la ODP tiene un valor positivo (Figuras 2.3, izquierda). Cuando los patrones de anomalías del clima se invierten, con anomalías de TSM cálidas en las anomalías de TSM interiores y fresco a lo largo de la costa de América del Norte, o por encima de la presión promedio del nivel del mar en el Pacífico Norte, la ODP tiene un valor negativo (Figuras 2.3, derecha). La Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) es una fluctuación del océano a largo plazo del Océano Pacífico. La ODP crece y decrece aproximadamente cada 20 a 30 años (Figura 2.4).

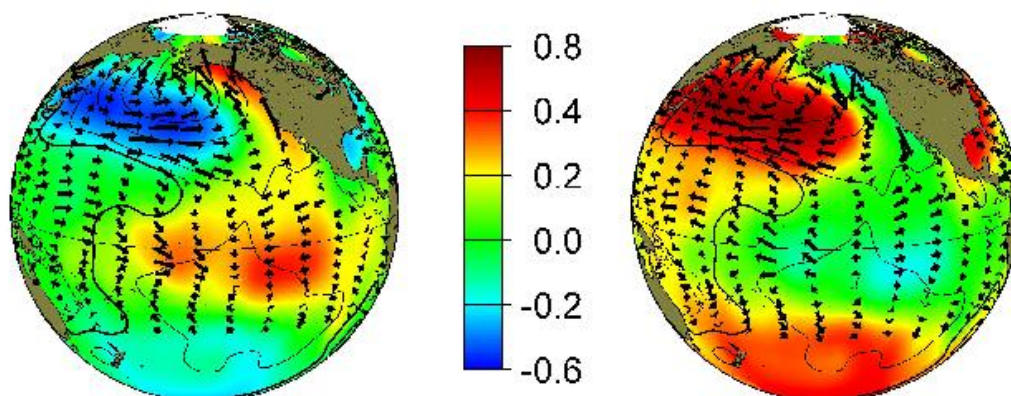


Figura 2.3: Fase cálida de la ODP (izquierda) y fase fría (derecha). (Fuente: JISAO)

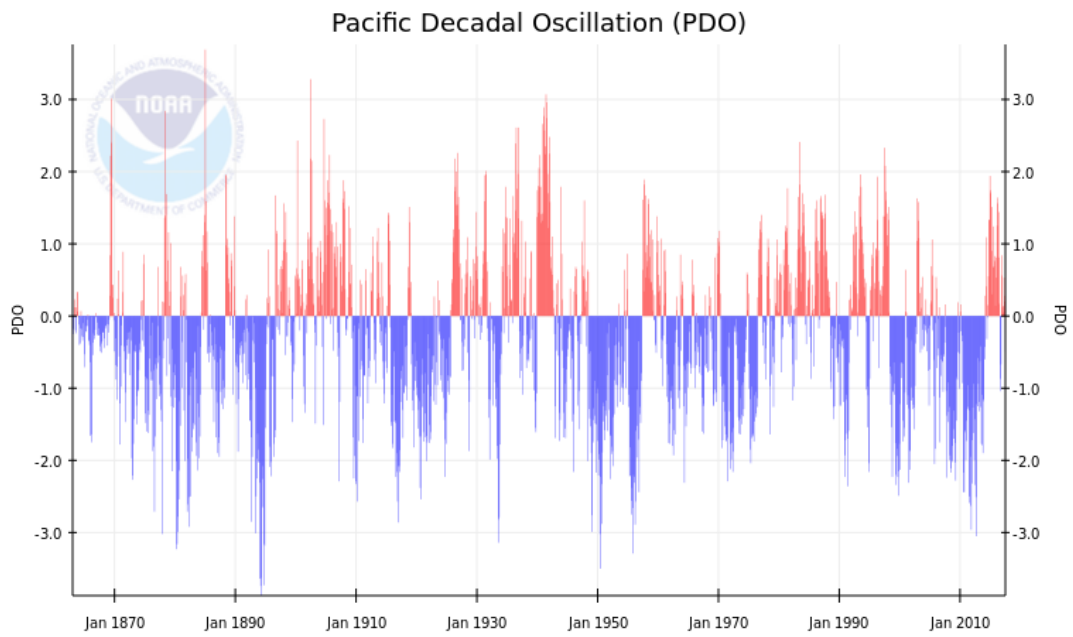


Figura 2.4: Oscilación decadal en el océano Pacífico. (Fuente: NOAA)

Capítulo 3

Modelos Numéricos Climáticos

3.1. Introducción

El comportamiento del océano y la atmósfera está regido por ecuaciones matemáticas derivadas del principio de continuidad, de la ecuación de Navier-Stokes (Segunda Ley de Newton) y de las ecuaciones de la termodinámica. Para ello se realizan aproximaciones para que su solución sea computacionalmente posible. Estas aproximaciones son fuente importante de error en los modelos, que se presentan como errores en la representación del clima en promedio, los cálculos de los modelos son efectuados en supercomputadoras. La cantidad de cálculos es determinada por la resolución del modelo, el número de dimensiones y tiempo de pronóstico.

La resolución espacial del modelo, especifica que tan grande es el grillado (en grados de latitud y longitud o en kilómetros o en millas) de las celdas de la cuadrícula en un modelo (Figura 3.1); mientras más pequeño es el espaciamiento de la grilla más alta es la resolución y demandaría mayor potencial de cómputo. La resolución temporal, se refiere al tamaño de los pasos de tiempo utilizados en los modelos, si se incrementa el número de pasos de tiempo (días, meses) el número de cálculos sería mayor y se necesitaría también mayor potencial de computo.

3.2. Ecuaciones de la Atmósfera y el Océano

Las ecuaciones de las leyes y principio de la Física que gobiernan los procesos en cada componente del sistema climático, así como los intercambios de energía y masa entre ellos se presentan de forma resumida en las siguientes ecuaciones para el océano y la atmósfera. $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla$

Ecuaciones Atmosféricas	Ecuaciones Oceánicas
Conservación de la energía: $\frac{dT}{dt} = (\nabla \cdot \kappa_h \nabla)T + \frac{1}{C_p} \Sigma \frac{dQ}{dt}$	Conservación de la energía: $\frac{dT}{dt} = k_t \cdot \nabla^2 T$
Conservación de momento: $\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{1}{\rho} \vec{\nabla} p - f \vec{k} \times \vec{V} - \nabla \Phi - \vec{F}$	Conservación de momento: $\frac{d\vec{V}}{dt} = f \vec{k} \times \vec{V} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \cdot \nabla^2 \vec{V}$
Conservación de la masa: $\nabla(\rho \cdot \vec{V}) = 0$	Conservación de la masa: $\nabla \cdot \vec{V} = 0$
Conservación del agua: $\frac{d(\rho q_i)}{dt} = (\nabla \cdot k_h \nabla)(\rho q_i) + E - P$	Conservación de la salinidad: $\frac{dS}{dt} = k_s \cdot \nabla^2 S$
Ecuación de estado: $p = \rho R_d T (1 + 0.61 q_v)$	Ecuación de estado: $\rho = \rho(T, S, p)$

Figura 3.1: Ecuaciones de la Atmósfera y el Océano. (Fuente: Universidad de Cantabria, tema: “Los modelos climáticos globales”, julio de 2007)

T: temperatura, Q: flujos de calor, V: vector de velocidad

q_i : fracción de agua/ de aire, S : salinidad

f : $\Omega \sin \phi$ (Parámetro de coriolis), p : presión, ρ : densidad, ϕ : latitud,

Φ : geopotencial, C_p : calor específico del aire,

R_d : Cte. del aire, k : coef. de difusión, ν : coef. de viscosidad.

3.3. Parametrización

Existen procesos físicos que actúan en una escala mucho más pequeña que el intervalo de un gran espacio (cientos de kilómetros) por ejemplo en la atmósfera, la microfísica de nubes y la turbulencia cerca de la superficie; en el océano, la convección profunda, mezcla turbulenta vertical, mezcla de remolinos a mesoescala. Si la física es completa de estos procesos, por ejemplo, las nubes, debían calcularse explícitamente en cada paso de tiempo y en cada punto de espacio, la enorme cantidad de datos producidos saturan la computadora. Estos procesos no pueden ser eliminados, por lo que la simplificación de las ecuaciones se desarrolla para representar el efecto bruto de los muchos procesos a pequeña escala dentro de un espacio o grilla con la mayor precisión posible. Este enfoque se denomina parametrización. Hay un montón de investigación que se va a encontrar formas mejores y más eficientes para incorporar estos procesos a pequeña escala en los modelos climáticos.

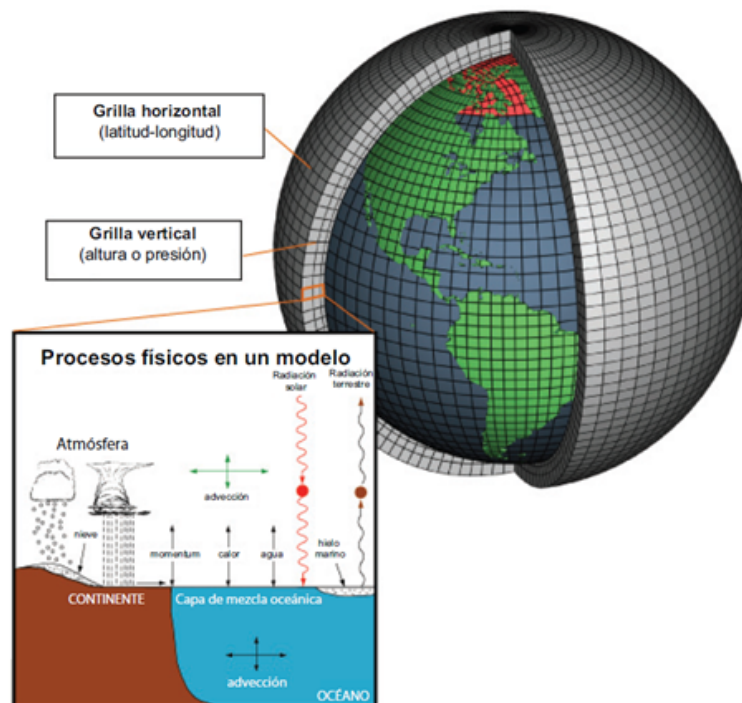


Figura 3.2: Representación de un modelo computacional global de la atmósfera de la tierra. (Fuente: NOAA)

3.4. Condiciones iniciales y de frontera

Son los datos observados de las variables meteorológicas y oceanográficas que dan el inicio a la dinámica del modelo teniendo como resultado los pronósticos, los errores que existan en los datos utilizados para definir estas condiciones (por ejemplo datos de temperatura de mar) afectarán negativamente los resultados finales.

3.5. Errores y validación de los modelos.

Los modelos numéricos, por necesidad, emplean una variedad de aproximaciones que pueden no ser apropiadas para algún fenómeno de interés, y son por lo tanto, fuentes de error. La principal fuente de error es la baja resolución por lo cual los efectos sobre el clima de aspectos de escala local (por ejemplo valles interandinos, afloramiento costero) no son correctamente representados. La validación de los modelos climáticos consiste en comparar analíticamente los resultados de los modelos con los datos observados. Esto permite identificar deficiencias en los modelos, lo cual orienta el esfuerzo de los investigadores. Después de identificar los errores en los modelos no es un trabajo fácil dar solución a ello.

3.6. Barrera de Predictibilidad

La predictibilidad es la capacidad que existe para pronosticar las condiciones climáticas en el futuro, un ejemplo es la predictibilidad de El Niño y la Oscilación del Sur (ENSO). Para este fenómeno se asocia principalmente la variable de la TSM en el OPE, para su fase cálida (El Niño) y para su fase fría (La Niña). El pronóstico del ENSO ha evolucionado en los últimos años, lo cual hace posible anticipar su ocurrencia con meses de anticipación observando los pronósticos de las anomalías de TSM.

Una de las principales fuentes de error en la predictibilidad es el error de incertidumbre (también conocido como “Ruido”) de las condiciones iniciales del modelo. Los estudios realizados por (Kirtman, 2003; Lorenz, 1965), han demostrado que la previsibilidad con condiciones meteorológicas imprecisas se convertirán en el futuro en errores, y estos errores se incrementan en relación

al tiempo de pronóstico, la estimación de su influencia es difícil de estimar. Es importante mencionar que para la fase del ENOS puede tener una influencia a la limitación temporal en los pronósticos debido al ruido estocástico del océano y la atmósfera, esta influencia en los modelos es difícil de estimar. Por ejemplo, si asumimos un modelo perfecto con condiciones iniciales casi perfectas, la predicción no puede ser perfecta debido a los procesos estocásticos en la naturaleza (Shukla and Kinter, 2006). Muchos planes de predicción generalmente, muestran una disminución o declinación significativa en la habilidad del pronóstico para la primavera boreal (meses de destino) con la recuperación aparente de la habilidad en los ciclos posteriores de la llamada también barrera previsibilidad primaveral (para el hemisferio norte). La causa de esta barrera no es todavía conocida del todo, y varias hipótesis se han discutido. Ciertos autores sugirieron que puede ser un resultado de acoplamiento relativamente débil entre el océano y atmósfera durante la primavera boreal (Battisti and Hirst, 1989; Blumenthal, 1991; Goswami and Shukla, 1991; Zebiak and Cane, 1987). El ciclo estacional del océano tropical, provoca que en primavera boreal el gradiente de la temperatura del mar entre la costa oeste y este del Océano Pacífico sea mínimo. Esto disminuye la influencia del océano sobre la atmósfera lo que le da más libertad a la misma y por ende se torna más caótica y difícil de predecir.

3.7. Modelo Climate Forecast System (CFS)

Las dos versiones del modelo acoplado Sistema de Pronóstico Climático (CFSv1 y CFSv2, por sus siglas en inglés), se desarrollaron en el centro de predicción climática CPC de la NOAA. El modelo CFSv1 inicio su actividad en el año 2004 (Saha et al., 2006) y el CFSv2 en el año 2011 (Saha et al., 2014). En ambas versiones del modelo, un conjunto de previsiones inician en tiempos diferentes para cada pronóstico. Las condiciones iniciales para CFSv1 son de NCEP-DOE Reanalysis 2 (R-2), (Kanamitsu and Potter, 2002) y del sistema de asimilación de datos oceánicos globales *Global Ocean Data Assimilation System* (GODAS) (Behringer and Xue, 2004). En el modelo CFSv2 las condiciones iniciales son CFSR (Saha et al., 2010). El acoplamiento del modelo CFS está integrado por el modelo atmosférico sistema de pronóstico global *Global Forecast System* (GFS)(Moorthi and P. Caplan, 2001), para el

CFSv1 se utilizó la versión del año 2003 y para el CFSv2 la versión del año 2009; para el océano se utilizó el modelo oceánico modular *Modular Oceanic Model* (MOM), descrito en el artículo de (Pacanowski and Griffies, 1999), para el CFSv1 se utilizó MOM3 y para el CFSv2 se usa la versión MOM4.

Los pronóstico del CFS consiste en una integración de 9 leads (meses) de pronóstico para la versión 1 del CFS (Figura 3.2) y 10 leads de para la versión 2 del CFS, con condiciones iniciales correspondientes a cada uno de 12 los meses naturales sobre un periodo de aproximadamente 28 y 29 años para este trabajo. Para cada mes inicial, se cuenta con un conjunto (“ensemble”) de corridas individuales (“miembros”) iniciadas en 15 (CFSv1) y 24 (CFSv2) instantes distintos alrededor de dicho mes. Las resoluciones horizontal y vertical son de 2 °C y 64 niveles para CFSv1 y de 1 °C y 64 niveles para CFSv2. Otra característica es la inclusión de la concentración de dióxido de carbono fija desde el año 1988 para el CFSv1, mientras que en el modelo CFSv2 el dióxido de carbono evoluciona con el tiempo. Algunas características de las versiones de los modelos CFSv1 y CFSv2 se muestran en la Tabla 3.1. La segunda versión muestra ser mejor que la primera en muchos aspectos. Para realizar el ensemble en el modelo CFS, las condiciones iniciales para cada mes se dividen en tres segmentos. Para cada segmento, un solo análisis del océano fué utilizado como condicioón inicial y una serie de estados atmosféricos tomados de Reanálisis una vez al día a intervalos cerca de la hora de análisis del océano. Se utilizaron como condiciones iniciales los siguientes días del mes.

Segmento 1: 9,10, 11, 12, 13

Segmento 2: 19, 20, 21, 22, 23

Segmento 3: 29, 30, 1, 2, 3

En el segmento 1, las condiciones iniciales para el océano corresponden al día 11 del mes dado, y los 5 días alrededor de este son los cinco estados atmosféricos iniciales. Del mismo modo, para el segundo segmento del día 21 del mes sería la condición inicial para el océano y los 5 días para la atmósfera, para el tercer segmento el primer día del siguiente mes sería la condición del océano y los 5 días para la atmósfera. Los datos de las variables meteorológicas pronosticadas se encuentran en la página web <http://cfs.ncep.noaa.gov/cfs> de CFS-NOAA también en <http://cfs-spim.cdacb.in/cfsv1/monthly/> del Centre for Development of Advanced Computing, India ; estos datos son mensuales y se encuentran en formato GRIB.

Tabla 3.1: Resumen de características de los modelo CFSv1 y CFSv2

Caracterisrticas	CFSv1	CFSv2
Condiciones iniciales	R2 y GODAS	CFS R
Resolución horizontal	T62(2°C)	T126(1°C)
Resolución vertical	64 niveles	64 niveles
Modelo oceánico	MOM3	MOM4
Modelo atmosférico	GFS del año 2003	GFS del año 2009
Ajuste de la concentración de dióxido de carbono	Fijado con los niveles hasta 1988	Evoluciona con el tiempo
Numero de leads o meses de pronóstico	9 leads o meses	10 leads o meses
Numero de ensembles	15	24

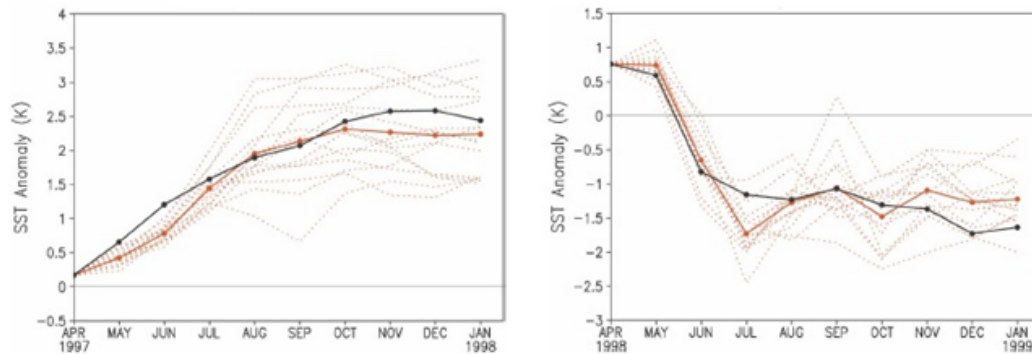


Figura 3.3: Corridos (miembros) de pronóstico para la región Niño 3.4, anomalías de la TSM de 15 condiciones iniciales (del 9 de abril al 3 de mayo), figura de la izquierda para el año 1997 y la de la derecha para 1998. Todos los miembros se muestran en líneas punteadas rojas, la línea promedio es la línea roja continua, las anomalías observadas se observan en la línea negra continua. (Fuente: S.Saha et.al. 2006)

Capítulo 4

Metodología

4.1. Área de Estudio

Los pronósticos de las variables oceanográficas físicas estudiadas y analizadas se encuentran en el OPE, para el estudio de la TSM, las regiones seleccionadas fueron Niño1+2, Niño3, Niño3.4 y Niño 4. Para las variables NMM, PI15°C y CCO las regiones escogidas fueron las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4. También se analizó la región del Pacífico este para el CCO. La ubicación de estas regiones fué mencionada y descrita en regiones del OPE en el fundamento teórico.

4.2. Datos de pronósticos y datos observados

Los datos de pronósticos para todas las variables (TSM, CCO, NMM y PI15°C) fueron tomados de la fuente CFSv1 y CFSv2 de NCEP. Los datos observados de TSM son del producto de interpolación optima versión 2 (*Optimum Interpolation Sea Surface Temperature version 2 OISST-v2*) (Reynolds et al., 2002), los cuales provienen de NCEP con resolución de 1° por 1° se obtienen mediante análisis objetivos de barcos, boyas y datos de satélite que utilizan el instrumento Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR); los datos de GODAS (Behringer and Xue, 2004) con resolución de 1° por 1° serán tomados para la comparación como datos observados para las variables CCO, NMM y PI15°C.

4.3. Procesamiento de datos con herramientas estadísticas.

Los datos climáticos de pronóstico y observados fueron tomados de la fuente *International Research Institute for Climate and society* IRI, el cual es un instituto que cuenta con datos climatológicos a nivel mundial y los brinda de manera gratuita vía internet, los archivos para este trabajo se obtuvieron en formato de archivos binarios, se procesaron con los softwares libres The Grid Analysis and Display System (GrADS) y GNU Octave.

Los datos de pronósticos están compuestos por un grupo de “ensembles”, de simulaciones individuales (miembros) iniciados en tiempos ligeramente distintos de un mes, el número de “miembros” M o número de corridas para CFSv1 son 15M y 24M para CFSv2, en este trabajo se hizo promedios para los miembros en cada versión de CFS, tomando cada promedio como valor de comparación con los datos observados (ver Capítulo 3.6).

Con los datos de los cuatro indicadores climáticos (TSM, CCO, PI15°C y NMM) se realizó sus respectivas climatologías y anomalías para las regiones Niño. En el área de estudio para los periodos entre los años 1982-2009 para CFSv1 y 1983-2010 para CFSv2, de manera similar también para los datos observados de cada variable. Además se hizo las climatologías y anomalías para tres periodos 1982-1990, 1991-2000 y 2001-2009 para la versión CFSv1 y 1983-1990, 1991-2000 y 2001-2010 para CFSv2. El número de climatologías y anomalías realizadas para CFSv1 es 9 y para CFSv2 son 10, ello dependió del número de leads.

Se realizaron series de tiempo mensuales con la anomalía de cada lead del pronóstico con las condiciones observadas para cada variable (TSM, NMM, PI15°C y CCO) en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4, para un mejor análisis en todas las series de tiempo se incluye la diferencia de la serie pronosticada y observada.

El siguiente proceso es estimar los Coeficientes de Correlación (CC), la cual es una distribución bidimensional y ocurre cuando dos variables guardan algún tipo de relación.

4.3.1. Correlación (r)

El coeficiente de correlación es usado para explicar que tan relacionadas están las variaciones de dos o más variables en el tiempo o espacio (Thomson, 2014), matemáticamente se expresa como la relación entre la covarianza (C_{xy}) y el producto de las desviaciones estándar de ambos conjuntos de datos ($S_x S_y$), por tanto:

$$r = \frac{C_{xy}}{S_x S_y} \quad (4.1)$$

Donde:

$$C_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

C_{xy} , es la covarianza de los conjuntos de datos x y y ; S_x y S_y son las desviaciones estándar de x y y respectivamente, además \bar{x} y \bar{y} es la media aritmética de cada conjunto de datos, y N el número de datos.

4.3.2. Raíz del error medio cuadrático (RMSE)

Otra medida de la exactitud de los pronósticos es el Error Medio Cuadrático o MSE (por sus siglas en inglés), y se define de la siguiente manera (Wilks, 2006):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_k - O_k)^2 \quad (4.2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_k - O_k)^2} \quad (4.3)$$

La Ecuación 4.3 representa la RMSE, como la raíz cuadrada de la MSE, ésta ecuación tiene las mismas dimensiones físicas que MSE; y también sirve para determinar la exactitud de las predicciones con respecto a la observación. En la ecuación, n es el número total de datos, y_k representa el número de datos del modelo, O_k número de datos observados.

Es una medida de uso frecuente que relaciona las diferencias entre valores pronosticados por un modelo o un estimador y los valores efectivamente obser-

vados. Las diferencias individuales se denominan residuos cuando los cálculos se realizan sobre la muestra de datos que se utilizó para la estimación, y se denominan errores de predicción cuando calculamos fuera de la muestra. El ERCM sirve para agregar las magnitudes de los errores en las predicciones para varias veces en una sola medida de poder predictivo. El ERCM es una buena medida de la precisión, pero sólo para comparar los errores de predicción de los diferentes modelos para una variable particular y no entre las variables, ya que es dependiente de la escala.

Los Coeficientes de Correlación (CC) y el (ERCM) de cada variable se representaron en contornos con la ayuda del software GrADS, para tener obtener un mejor análisis, los cuales son mostrados en los resultados (ver Capítulo V)

Capítulo 5

Resultados y Discusión

5.1. Análisis de series de tiempo de ATSM para los próstico de CFS y datos observados en la regiones Niño 1+2 y Niño 3.4

Se inició el análisis con la comparación de las series de tiempo para las dos versiones del modelo CFS y los datos observados de OISST-v2, para las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4. Se puede observar de la Figura 5.1 a la Figura 5.38 el comportamiento de las anomalías de la TSM, la variabilidad interanual, también se observa las anomalías máximas y mínimas generadas durante los eventos Niño y Niña, respectivamente. En la región Niño 1+2 al comparar las series de los leads de CFSv1 con los datos observados (Figura 5.1 a la Figura 5.9), se aprecia que al incrementar el tiempo de pronóstico (leads) las anomalías máximas positivas de los años Niño (1982-1983 y 1997-1998) se hacen menores. Además se realizó la diferencia entre las series pronosticadas y observadas, y están representadas en la series de color celeste, donde se puede apreciar que en los primeros 5 leads (Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5) para los Niños extraordinarios la diferencia es menor en el inicio de los eventos comparado con el final, en los 4 leads siguientes está diferencia solo se mantiene para el Niño 1982-1983, mientras que para el evento 1997-1998 las diferencia es mayor al inicio del evento. Los leads 3, 4 y 5 (Figuras 5.3, 5.4 y 5.5) se observa que en los primeros meses del año 1983 el pronóstico no alcanza las anomalías observadas con una diferencia aproximada de -4.8°C , en los leads siguientes esta diferencia

es menor; para el evento 1997-1998 los pronósticos no alcanzan las anomalías máximas, sin embargo en los primeros leads tiene alta aproximación con la fase de inicio de la anomalía observada (Figuras 5.1, 5.2, 5.3 ,5.4), en los siguientes leads el pronóstico subestima a lo observado mostrando una gran diferencia entre los pronósticos y lo observado. En los eventos Niños moderados según el ICEN (Takahashi et al., 2014) , se observa que todos los leads sobrestiman el evento 1986-1987, observándose la mayor diferencia al inicio del evento; para el evento 1991-1992 se observa sobrestimación en los primeros 3 leads, mientras que en los siguientes leads se observa subestimación, observándose las mayores diferencias negativas al inicio del evento, para el evento 2006-2007 se observa subestimación en todos los pronósticos, observándose las mayores diferencias en los últimos leads.

Para los eventos Niña, como en el caso de los eventos de los años 1985, 1988, 1996, 1999, y 2001, el modelo hizo el pronóstico de las anomalías negativas pero en menor magnitud comparadas a las observadas. En efecto al observar las diferencias de los pronósticos y los datos observados se observan resultados positivos. Interesante, el pronóstico de La Niña 2007-2008 donde se subestimó su magnitud y no representó su declinación adecuadamente, incluso en lead 1, en las siguientes figuras la plalabra lead se abrevia con la letra L.

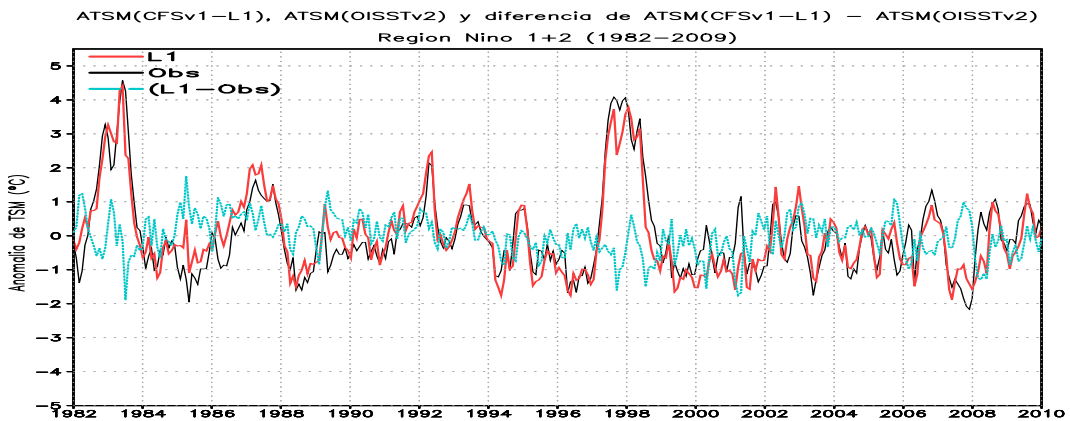


Figura 5.1: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L1 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

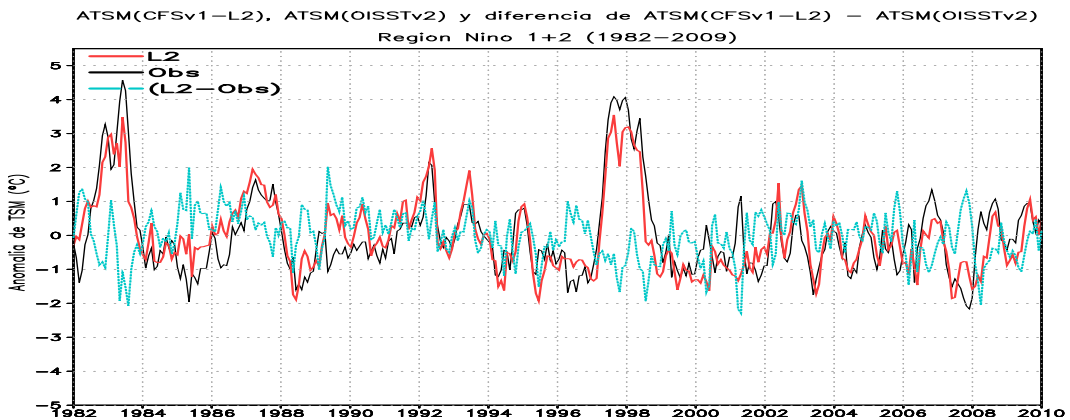


Figura 5.2: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L2 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

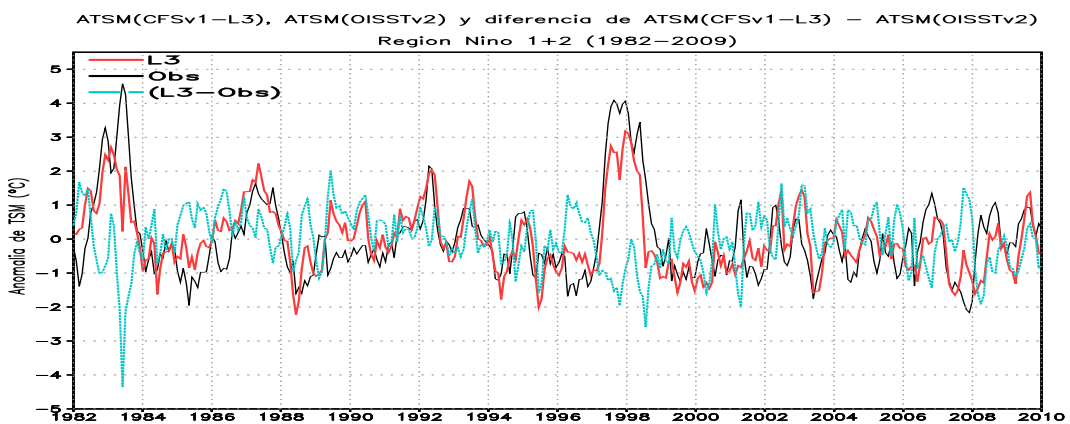


Figura 5.3: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L3 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

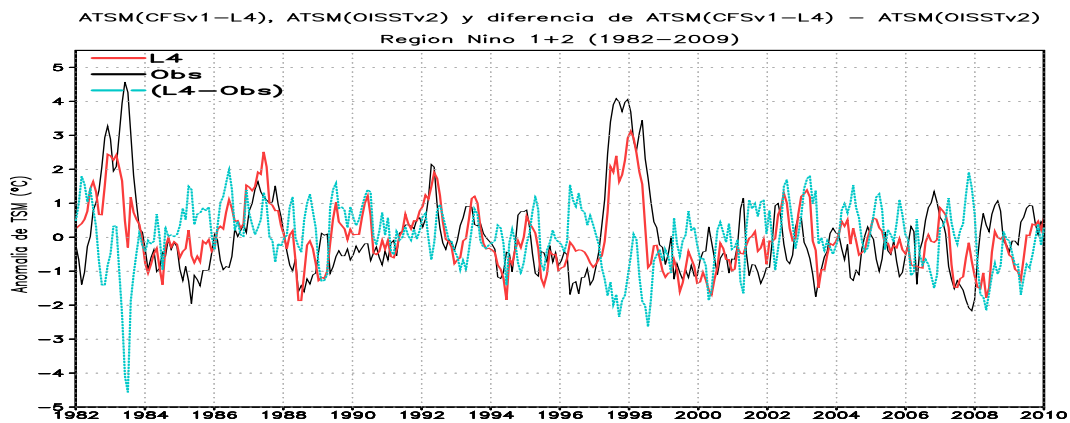


Figura 5.4: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L4 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

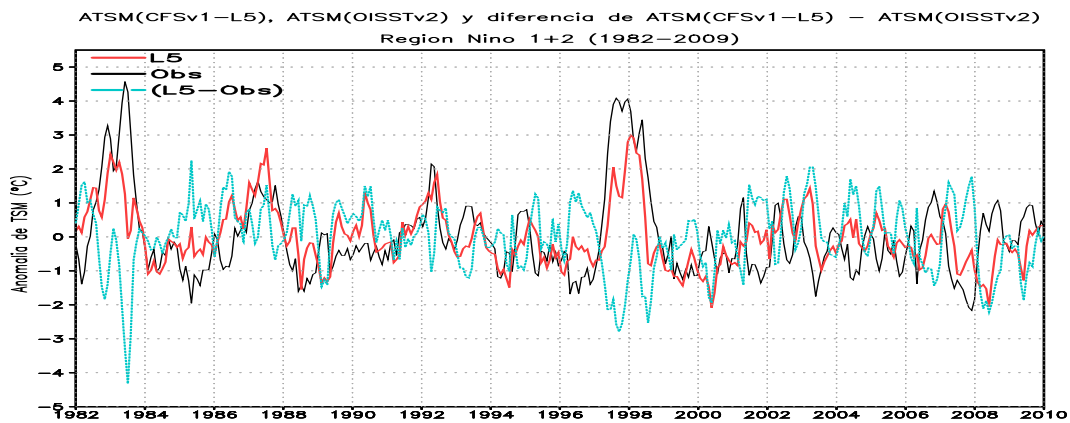


Figura 5.5: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L5 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

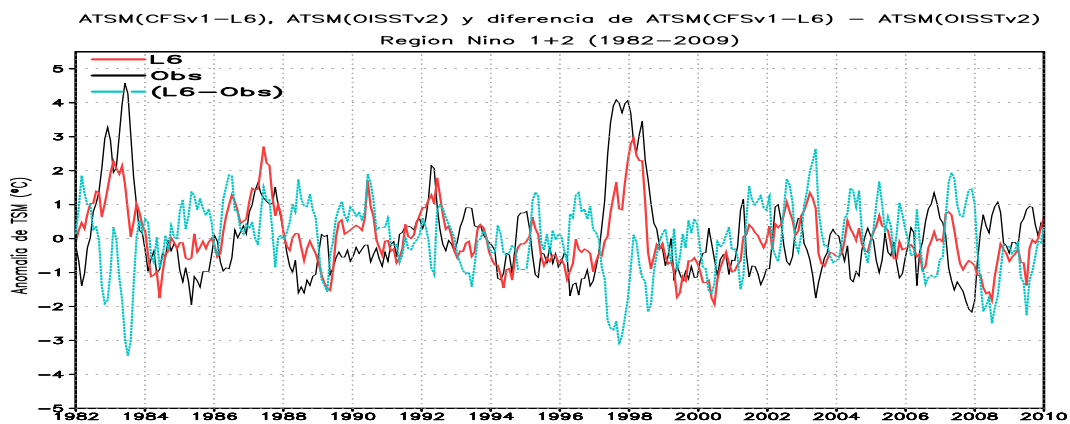


Figura 5.6: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L6 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

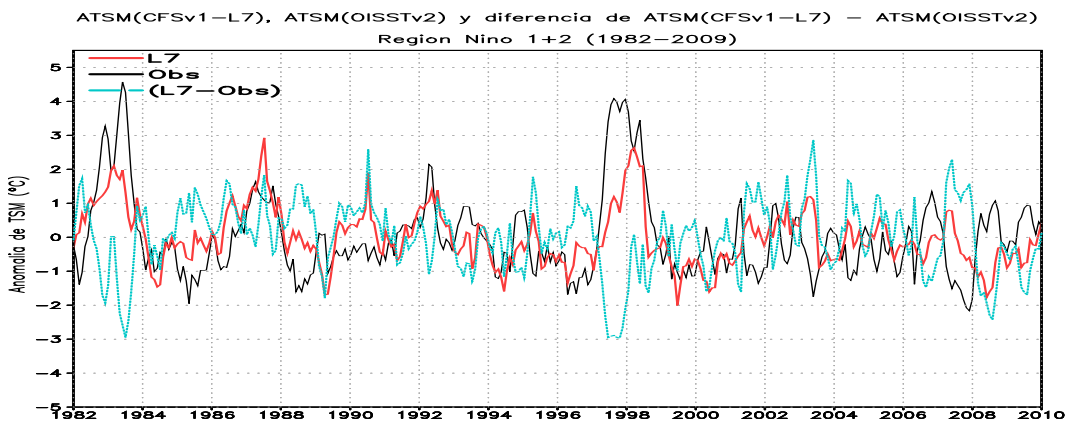


Figura 5.7: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L7 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

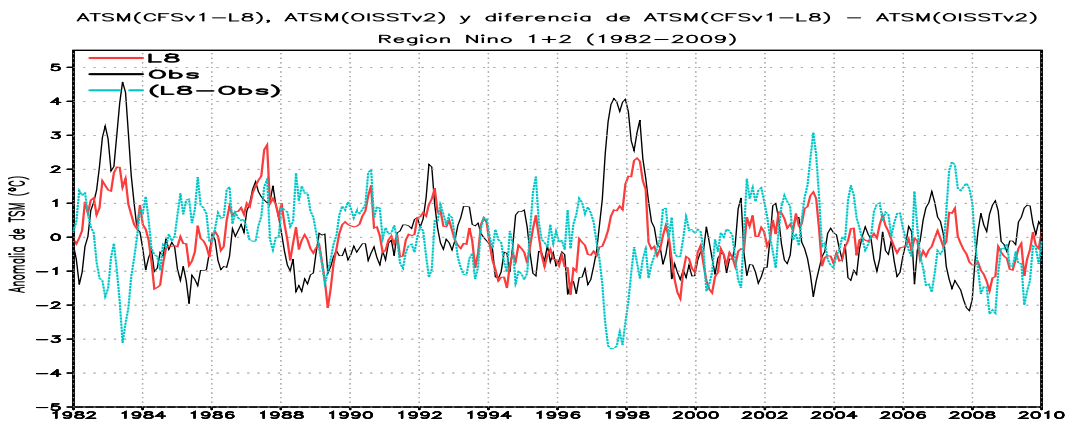


Figura 5.8: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L8 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

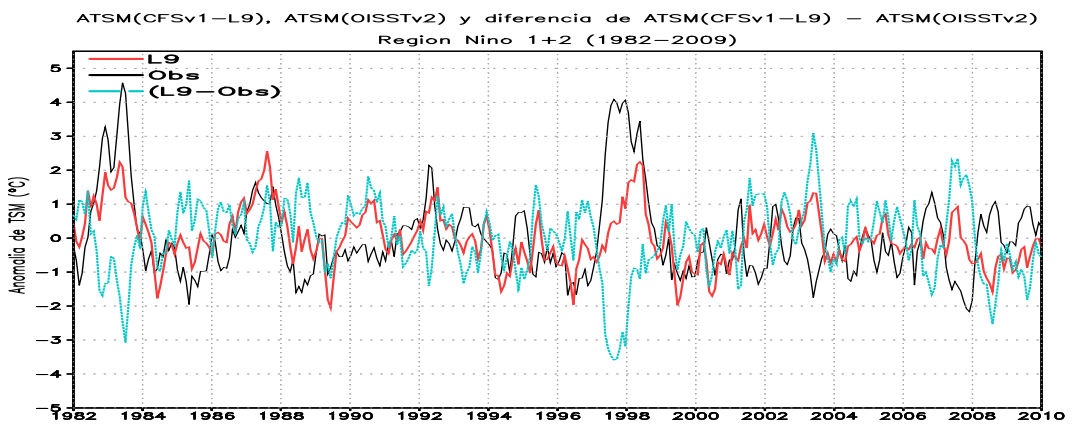


Figura 5.9: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de las ATSM de L9 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

En el modelo CFSv2, se observa las series de los pronósticos y datos observados de ATSM a partir del año 1983 (Figuras 5.10-5.19), además de la serie de las diferencias entre los datos pronosticados y observados (serie celeste). Para el evento del Niño extraordinario 1983 se observa que en todos los leads las diferencias negativas son mayores al final del evento, para el evento 1997-1998 es similar hasta el lead 5, donde se observó la diferencia aproximadamente de -3.5°C (Figura 5.14), en los siguientes leads se observa que los pronósticos muestran al inicio, las diferencias negativas máximas del evento. En los eventos Niños moderados también se observa subestimación de los leads, para los eventos de los años 1986-1987 y 1991-1992, en los 6 primeros leads (Figuras 5.10-5.15) se observa que las diferencias negativas son mayores al final del evento y en los leads siguientes varia al observarse las mayores diferencias en las máximas anomalías de los datos observados. Para el evento 2006-2007 en los tres primeros leads (Figura 5.10-5.12) el modelo sobrestimó el fin del evento, se observó los mejores resultados para el final del evento, en los siguientes leads el modelo sobrestima el inicio y fin del evento.

En cuanto a los eventos Niña, como en el caso de los eventos de 1985, 1988, 1996, 1999, y 2001, al igual que el CFSv1 los pronósticos indicaron anomalías negativas de menor magnitud que las observadas. Particularmente, sobrestimó la magnitud de La Niña 2007-2008 y no representó su declinación adecuadamente, desde el lead 1 (Figura 5.10).

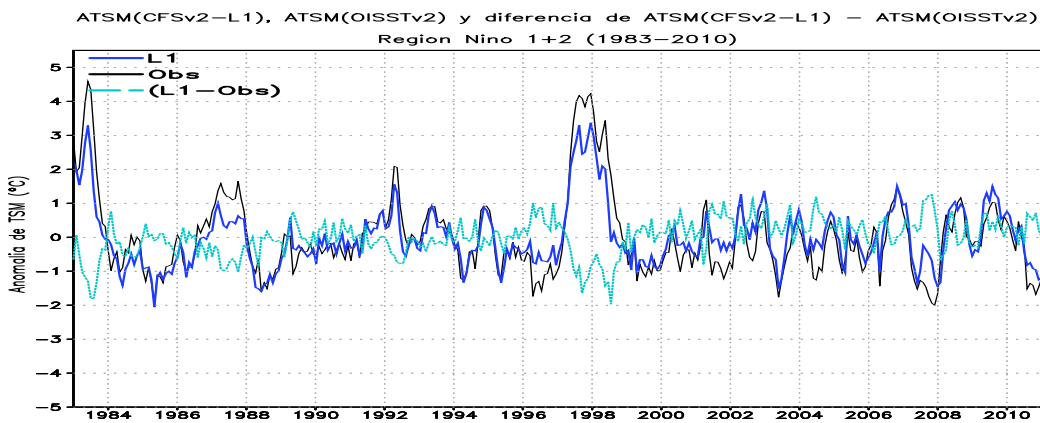


Figura 5.10: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L1 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L1 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

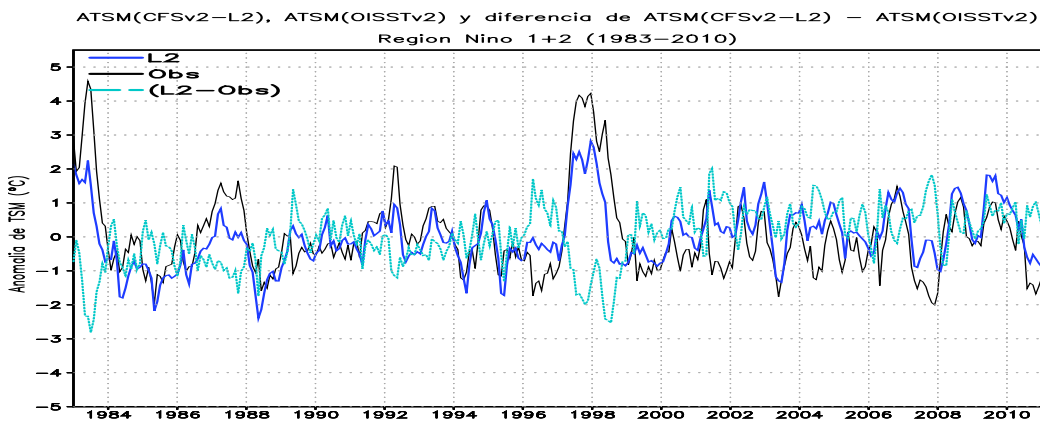


Figura 5.11: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L2 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L2 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

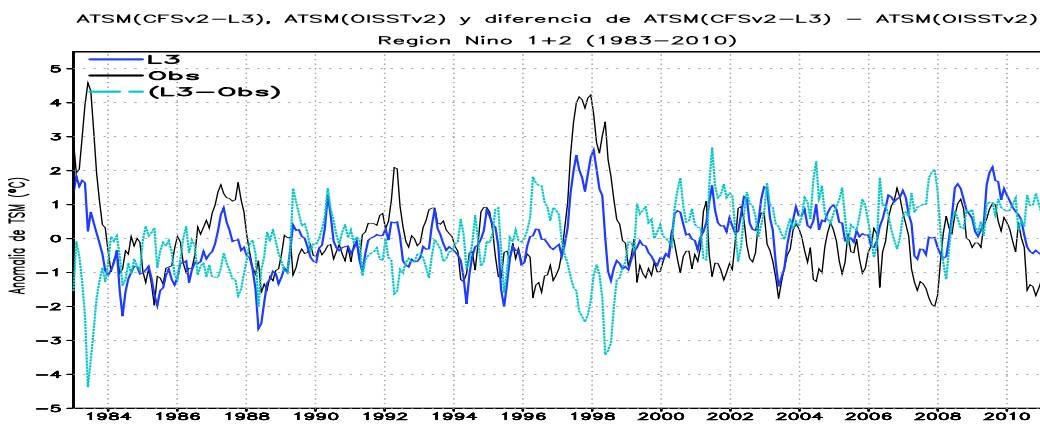


Figura 5.12: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L3 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L3 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

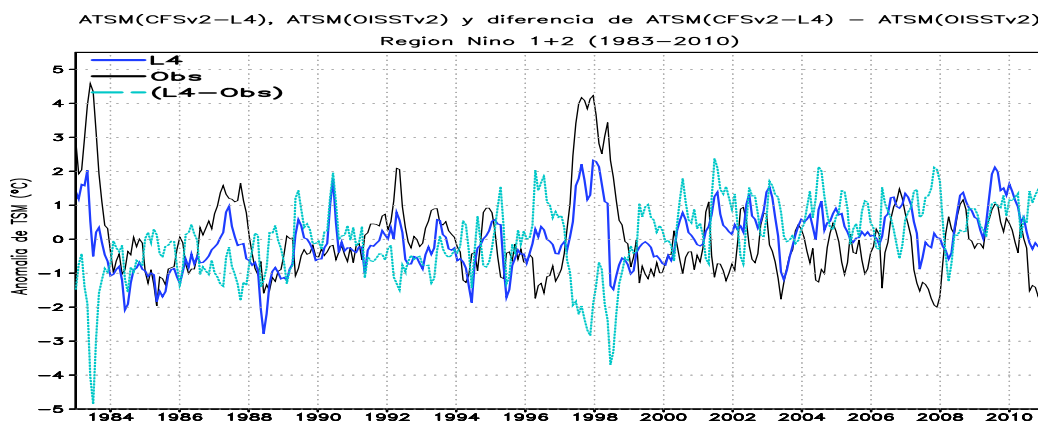


Figura 5.13: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L4 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L4 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

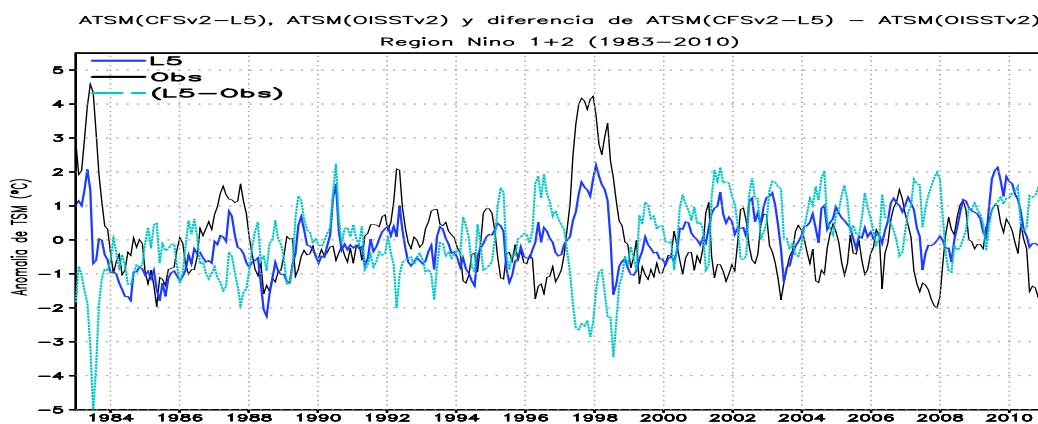


Figura 5.14: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L5 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L5 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

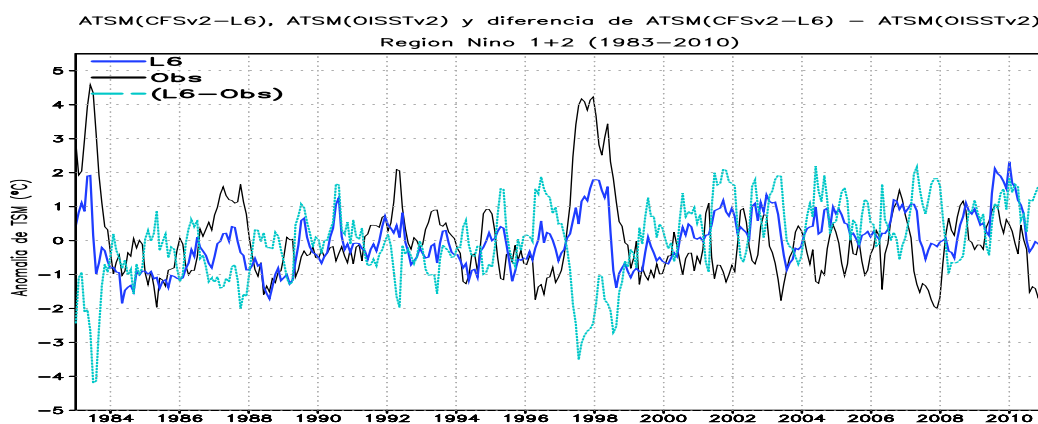


Figura 5.15: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L6 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L6 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

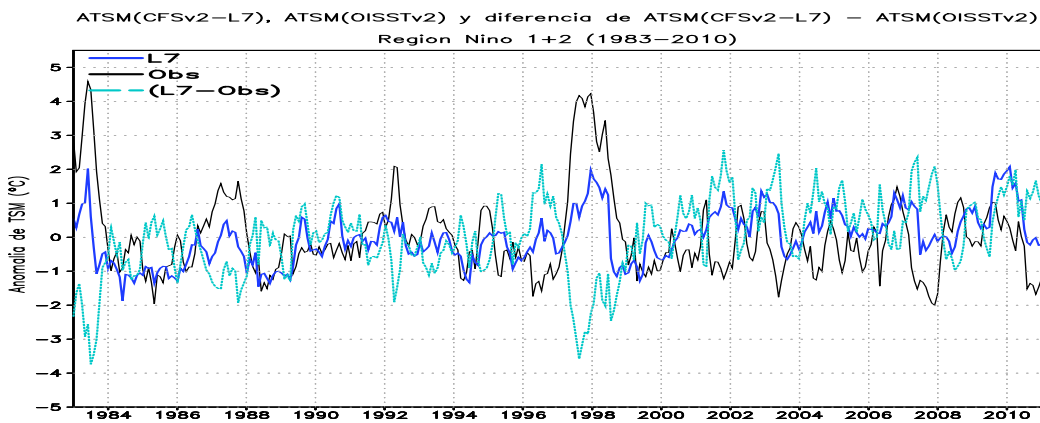


Figura 5.16: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L7 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L7 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

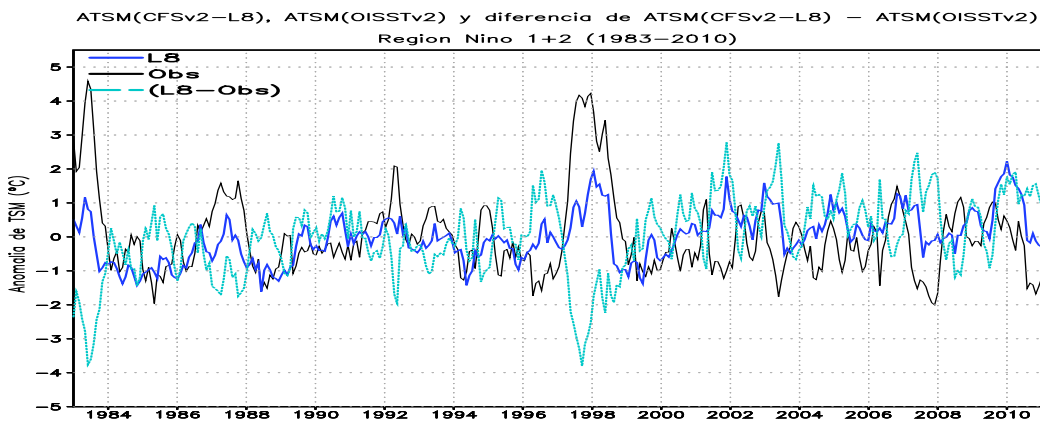


Figura 5.17: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L8 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L8 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

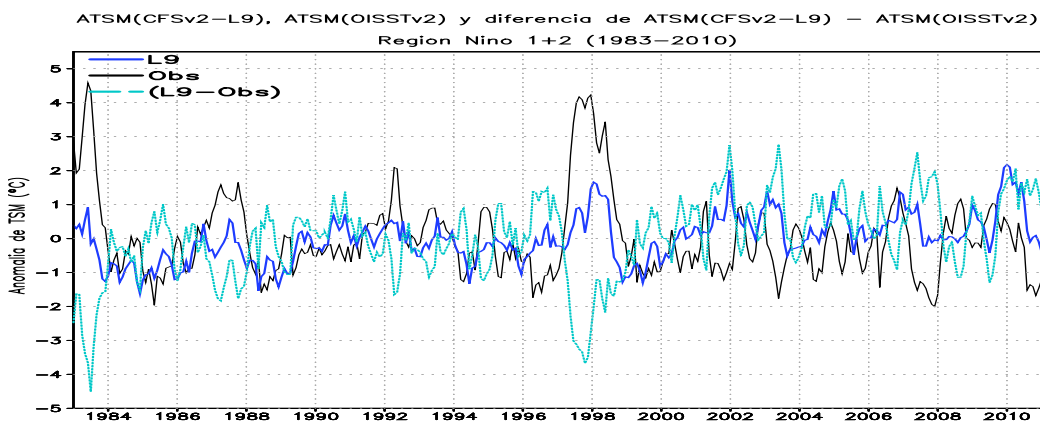


Figura 5.18: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L9 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L9 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

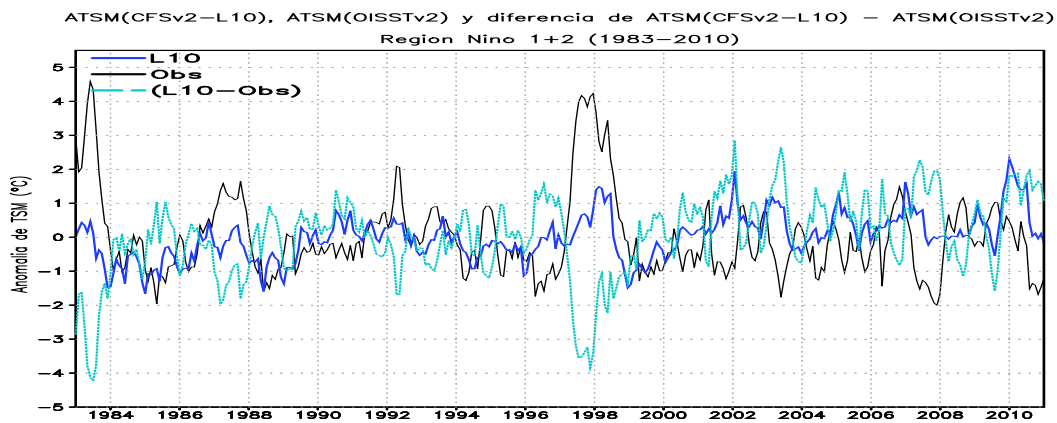


Figura 5.19: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv2 para L10 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L10 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

Para la región Niño 3.4, en las series de tiempo (Figuras 5.20-5.28) la diferencia de los pronósticos de CFSv1 y datos observados (serie celeste) para los eventos El Niño de los años 1982-1983 y 1997-1998, se observa que en los primeros 2 leads las diferencias son pequeñas, además se distingue una reducida sobrestimación al final de los eventos; en los siguientes leads se observan diferencias negativas al inicio y diferencias positivas al final de los eventos Niño, para el evento de los años 1997-1998 se observa sobrestimación de los pronósticos entre los leads 1 y 8. En El Niño de los años 1986-1988, se observa las diferencias máximas al final del evento, en El Niño de los años 1991-1992 las diferencias máximas se observa a mediados del evento, pues el modelo subestima la anomalía máxima, en El niño 2002-2003 la diferencia de las máximas anomalías se observa al inicio del evento, por el contrario el modelo sobrestima el final del evento. En cuanto a los eventos Niña, en el evento de los años 1988-1989 se observa mayores diferencia en el inicio del evento a partir del lead 3 incrementándose al aumentar el número de leads, para los años 1998-1999, 2007-2008 se observa que el modelo sobrestimo las condiciones negativas observadas.

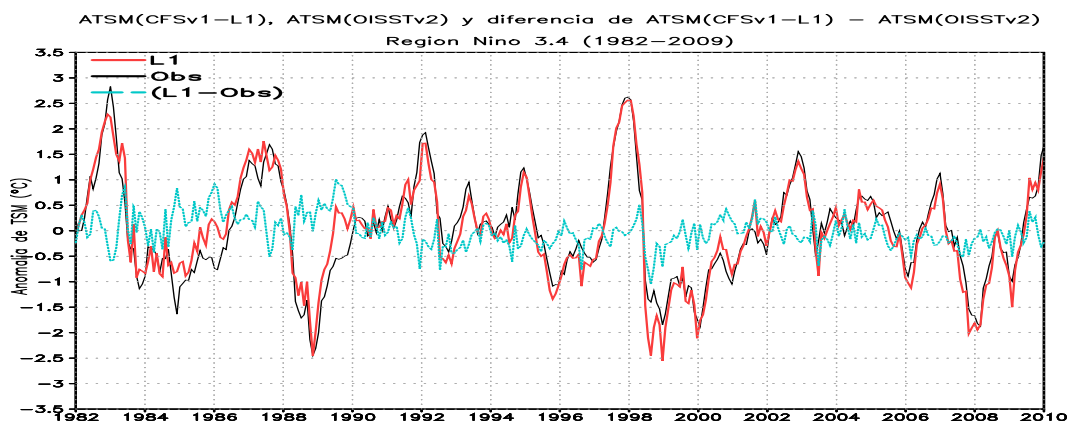


Figura 5.20: Series de tiempo depronasticada las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L1 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)

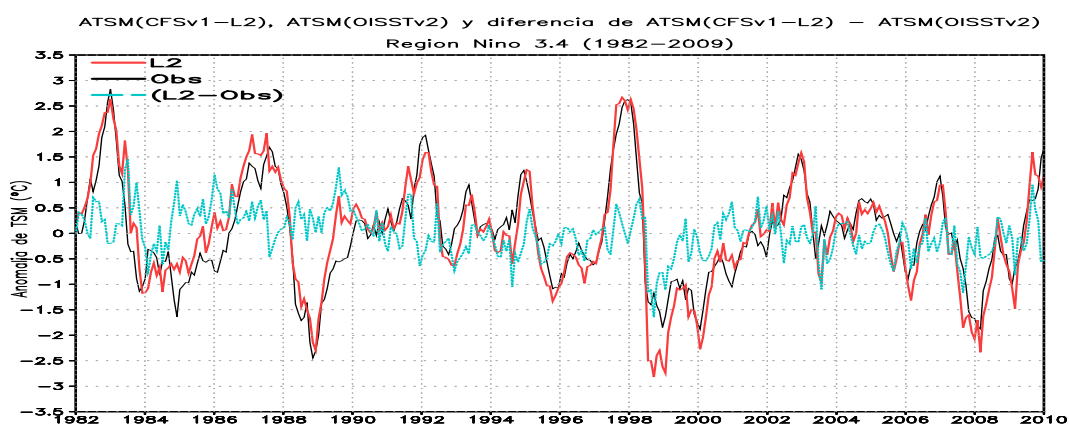


Figura 5.21: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L2 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)

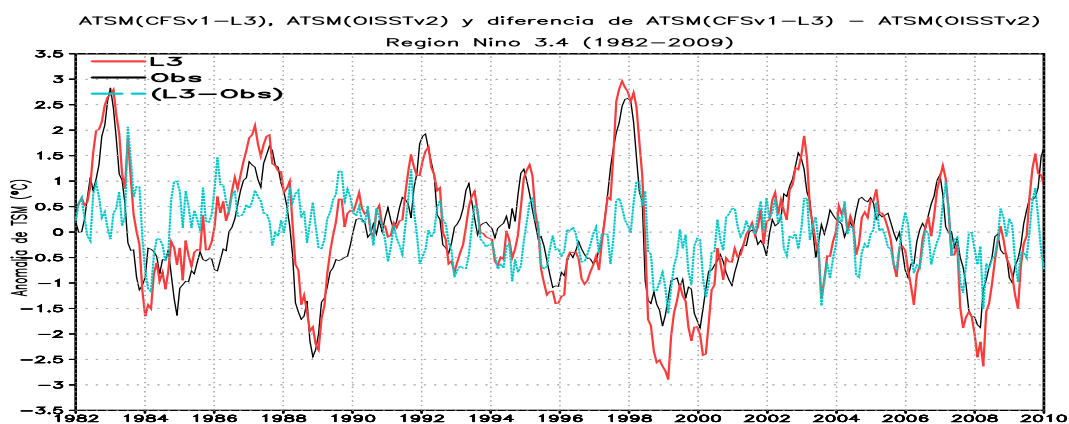


Figura 5.22: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L3 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)

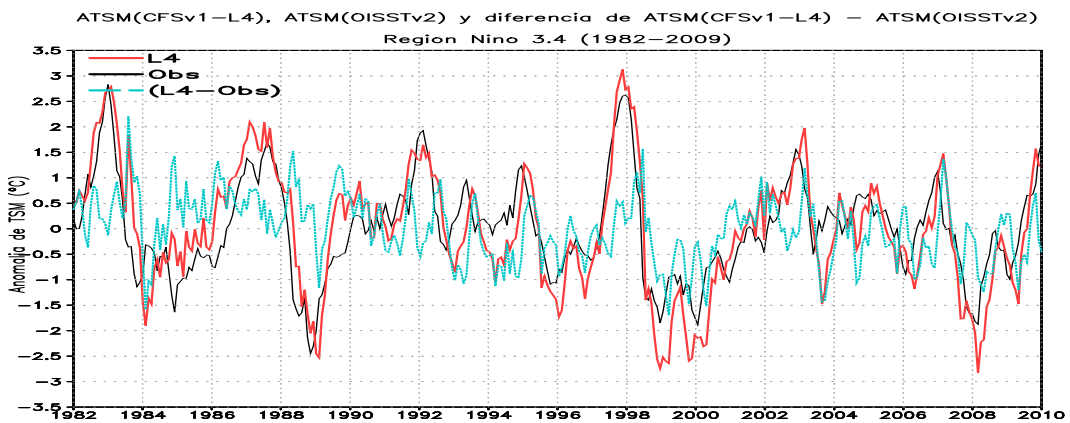


Figura 5.23: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L4 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)

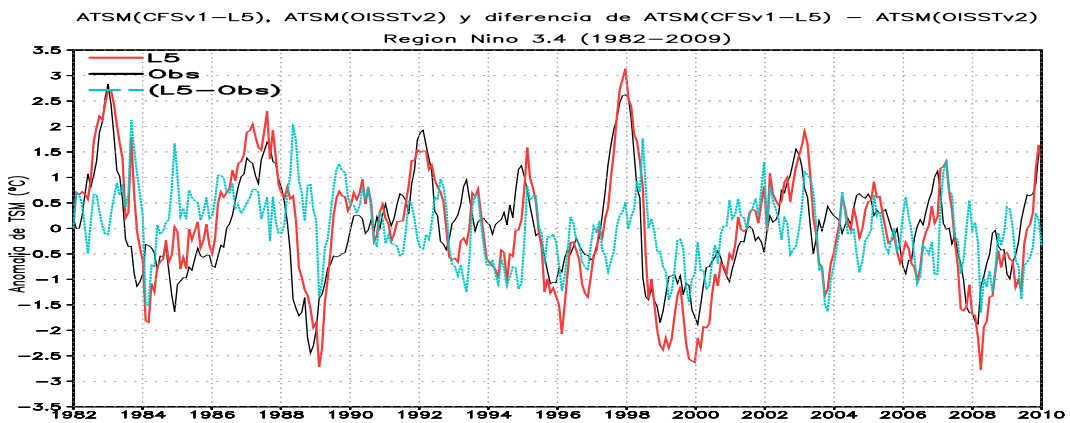


Figura 5.24: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L5 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)

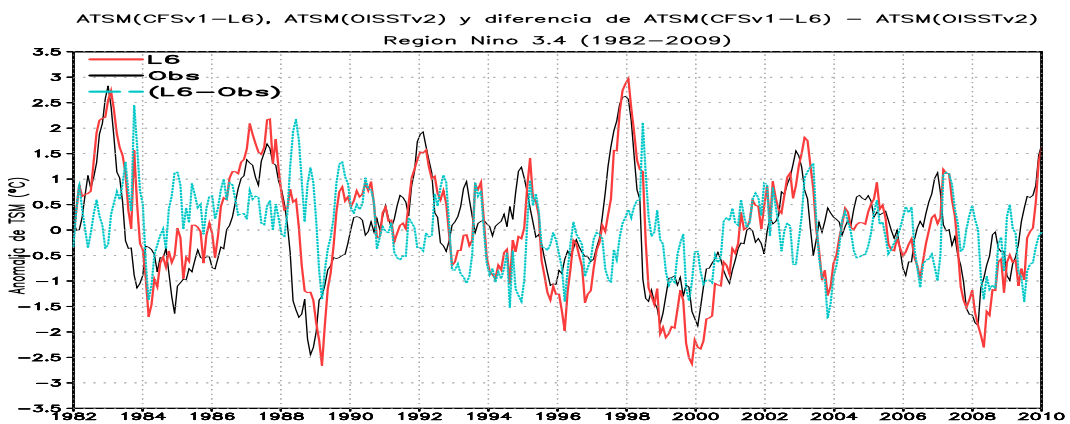


Figura 5.25: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L6 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)

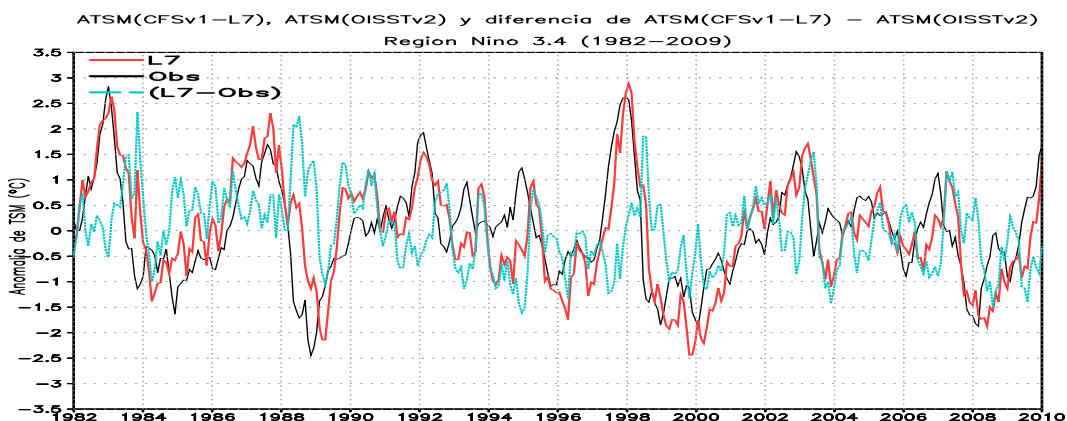


Figura 5.26: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L7 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)

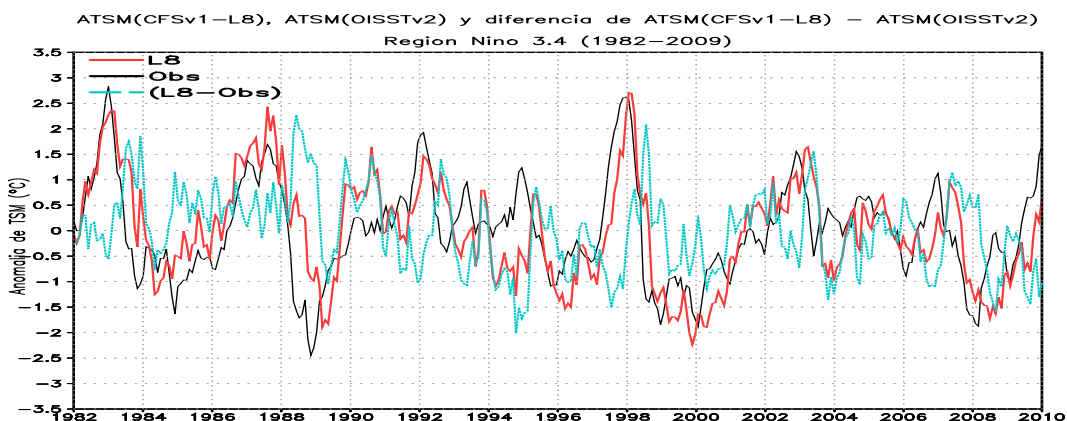


Figura 5.27: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L8 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)

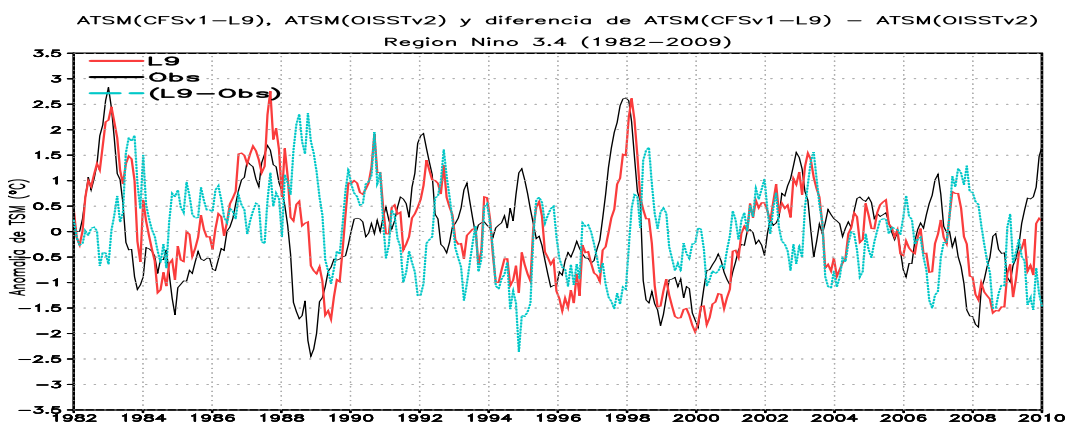


Figura 5.28: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de la ATSM de L9 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2009)

Las Figuras 5.29-5.38 muestran los resultados de la diferencia del modelo CFSv2 y los datos observados en la región Niño 3.4. Los 2 primeros leads muestra pequeñas diferencias en los eventos Niños, el pronóstico subestima los datos observados, por el contrario el Niño 2010 donde los datos pronosticados sobrestiman el evento Niño. En esta serie solo se puede observar el final del evento Niño extraordinario del año 1983, donde las diferencias son negativas, en todos los leads. Para el evento 1997-1998 se observa diferencias negativas en el inicio del evento, las diferencias se hacen mayores al incrementar los leads, mientras que el final del evento las diferencias son positivas y también se hacen mayores al incrementar los leads, en cuanto a la anomalía máxima del evento el modelo la sobrestima entre los leads 3 y 7 (Figura 5.31-5.36), caso contrario en los leads 8, 9 y 10 (Figura 5.37-5.39). El evento 1986-1987 las diferencias se observan al inicio y fin del evento, incrementándose en relación al número de leads, siendo mayor en el inicio del acontecimiento, el evento de 1991-1992 en los 3 primeros leads se observa una mínima diferencia, en el inicio y fin del evento, en los leads siguientes la diferencia es negativa, para el caso de las anomalías máximas son diferencias negativas. El Niño 2002-2003, las diferencias son negativas en el inicio del evento mientras que al final del evento se observan diferencias positivas, en general el modelo sobrestima las anomalías máximas del evento. En el Niño 2009-2010 se observa diferencias positivas al inicio y fin del evento Niño, además las anomalías máximas también tienen diferencias positivas; se puede decir que la mayor parte del periodo (1983-2010) fué subestimado. Para los eventos Niña de los años 1988-1989 el modelo sobrestima las anomalías negativas hasta el lead 5, para los siguientes leads el modelo subestima las anomalías negativas; en los eventos La Niña de los años 1998-1999 y 2010 se observa que el modelo subestima las condiciones negativas, para el evento Niña del año 2010 el modelo subestima las condiciones negativas.

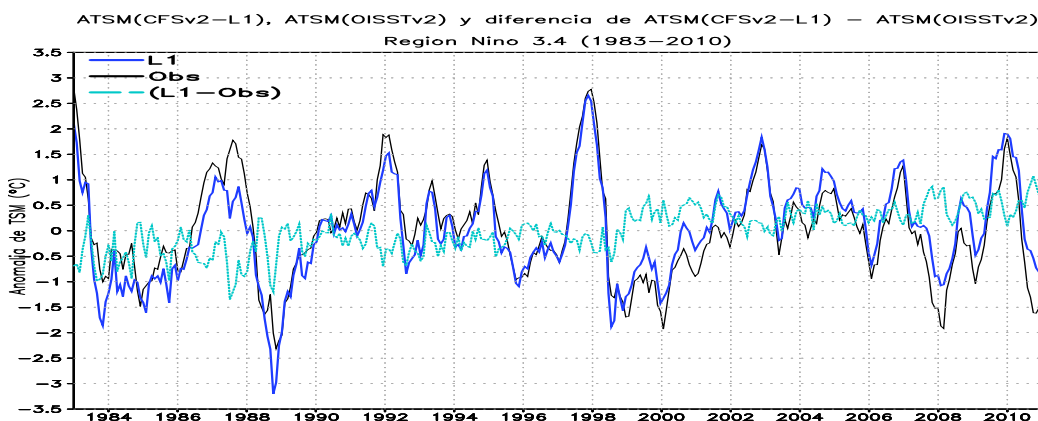


Figura 5.29: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L1 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L1 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

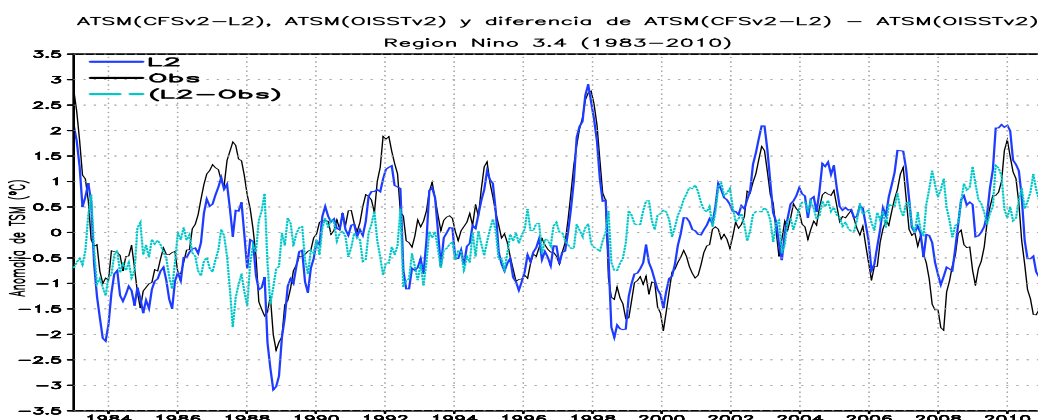


Figura 5.30: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L2 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L2 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

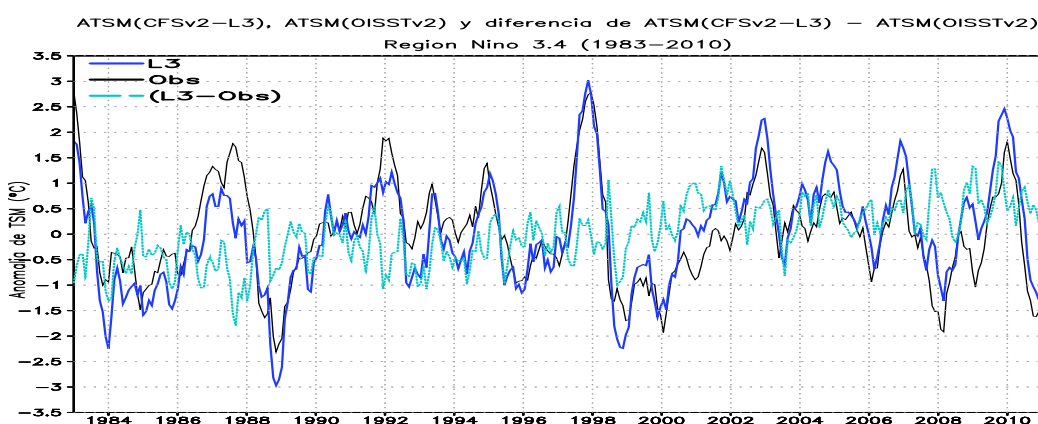


Figura 5.31: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L3 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L3 y observada. Repronosticadagión Niño 3.4 (1983-2010)

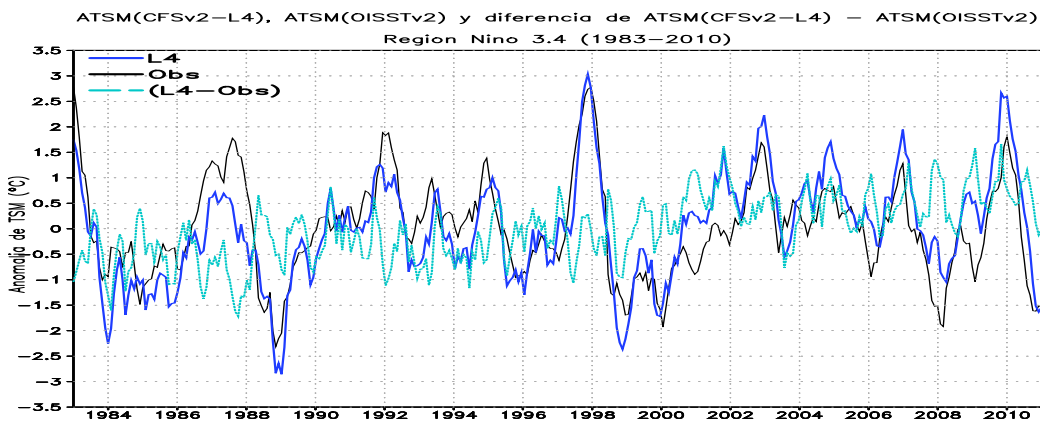


Figura 5.32: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L4 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L4 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

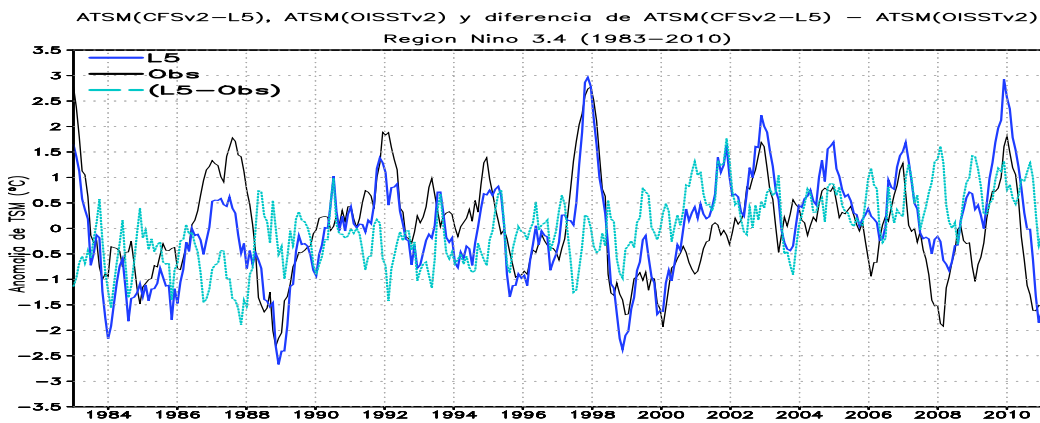


Figura 5.33: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L5 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L5 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

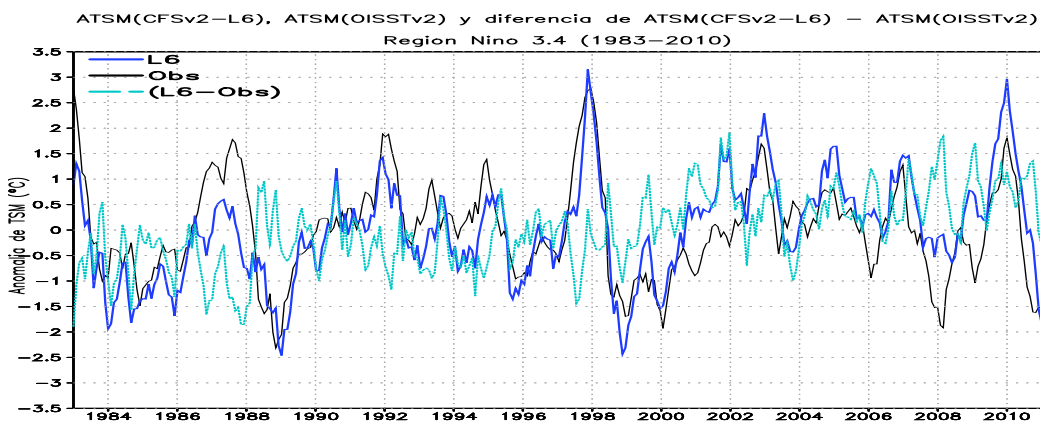


Figura 5.34: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L6 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L6 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

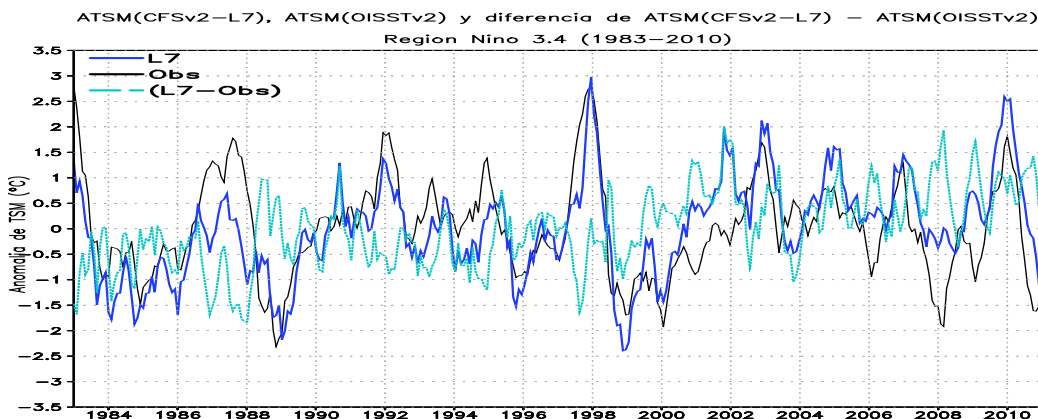


Figura 5.35: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L7 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L7 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

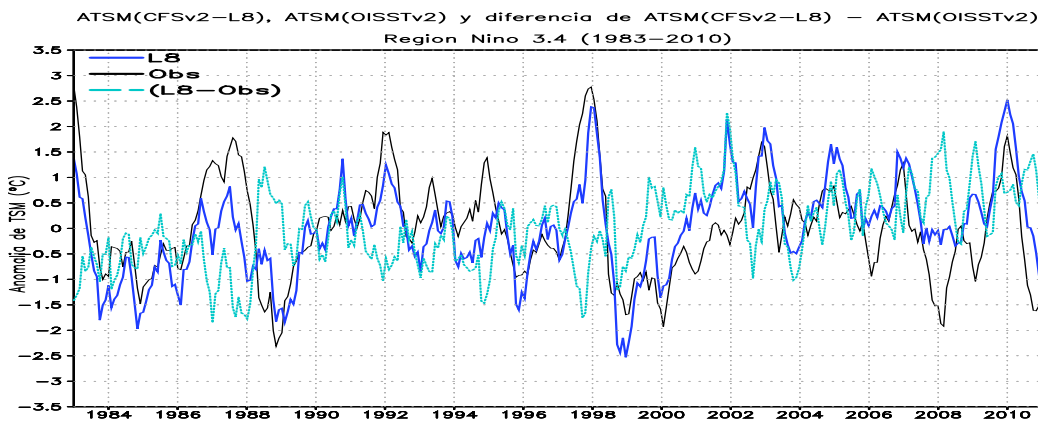


Figura 5.36: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L8 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L8 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

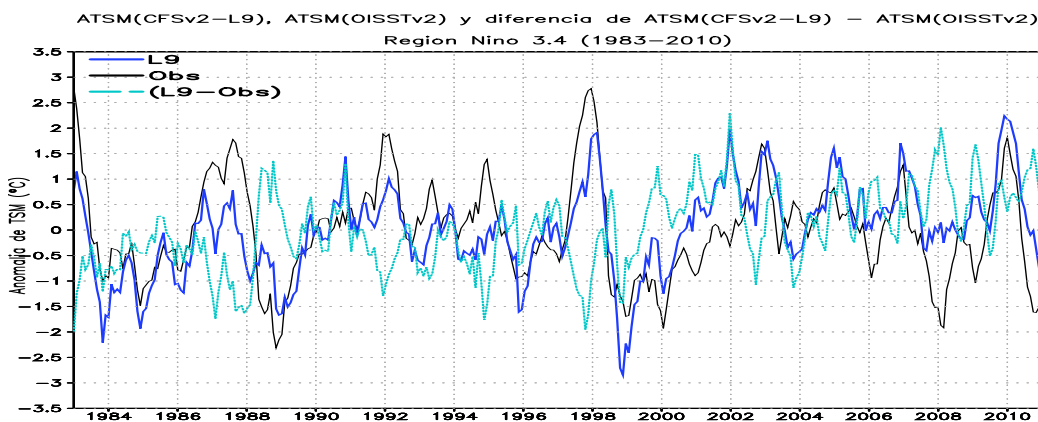


Figura 5.37: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L9 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L9 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

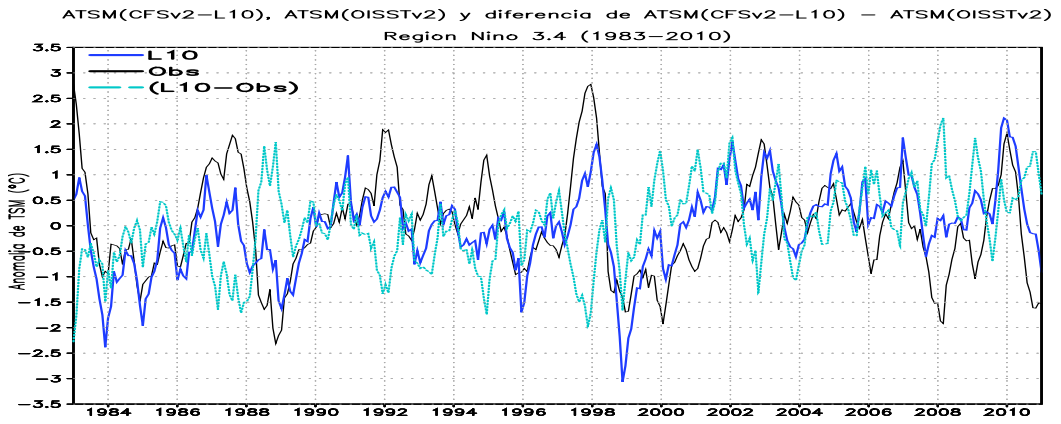


Figura 5.38: Series de tiempo de las ATSM observada (negra) y de CFSv1 para L10 (azul), en celeste la diferencia de la ATSM de L10 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

5.2. Coeficiente de correlación de los pronósticos de (CFS) y datos observados

Los coeficientes de correlación para los pronósticos y los datos observados se muestran en figuras de contorno (ejemplo: Figura 5.39-5.44) en función del mes en el cual se hace el pronóstico (eje horizontal) y el número de leads (eje vertical), el lead 1 corresponde al mes en el que se tomó los primeros días como parte de las condiciones iniciales. En el índice de correlación los valores más cercanos a uno indican un mejor pronóstico, caso opuesto a los valores cercanos a menos uno; en las figuras se observa que los coeficientes de correlación decrecen al incrementarse los leads. Los valores del índice de correlación de la tabla fueron multiplicados por el factor 100 para tener una mejor observación de los resultados, sin embargo la escala de colores es de -1 a 1.

5.2.1. Coeficientes de correlación (CC) de la ATSM pronosticada (CFS) y datos observados para las regiones Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4

Las Figuras 5.39, 5.40, 5.41 y 5.42 muestran los coeficientes de correlación de las anomalías de la TSM pronosticadas de las dos versiones de CFS y datos observados de la anomalía de TSM para las cuatro regiones Niño. En la Figura 5.39a se ve el CC de CFSv1 y datos observados para el periodo 1982-2009, las correlaciones más altas se dieron entre los meses de setiembre y enero, siendo el mes de diciembre en el que se observa las más altas correlaciones, llegando hasta el lead 7 con un valor de 0.81. Para los meses entre febrero y agosto las máximas correlaciones se observaron en los 2 primeros leads, en algunos meses los siguientes leads mantienen un nivel de correlación superior a 0.58. La Figura 5.39b es el resultado para CFSv1 para el periodo 1984-2009 sin tomar en cuenta los años 1997-1998 que fueron años de Niño extraordinario, se observó que los CC disminuyen comparados con la Figura 5.39a, al comparar estas 2 figuras se mantiene los CC más altos entre los meses de setiembre y enero, teniendo el valor de 0.81 en el mes de diciembre en el lead 4, tres leads antes que la figura anterior; los pronósticos entre los meses de febrero y abril siguen siendo los menores. La Figura 5.39c muestra el CC para el periodo 1983-2010

de CFSv2 y las anomalías observadas, donde el CC mayor o igual a 0.5 se muestra entre los meses de diciembre y febrero cuyo límite es el lead 5, esta versión del modelo muestra coeficientes menores comparados con la Figura 5.39a, también muestra resultados menores en los meses de febrero y marzo con CC menores a 0.6 en los primeros 5 leads, además se observa correlaciones menores entre los leads y meses 5 y 10 julio y noviembre. La Figura 5.39d es el resultado de CFSv2 y los datos observados para los años 1984-2010, sin tomar en cuenta los años 1997-1998, también se observa los coeficientes de correlación de 0.5 en el mes de diciembre para el lead 5 como en la figura anterior, los CC descienden comparándola con la Figura 5.39c y los mínimos CC se observan en el mes de marzo después del lead 4.

En la Figura 5.40 se observa el CC de las anomalías de TSM pronosticadas y observadas para la región Niño 3, en la Figura 5.40a se muestra los CC del modelo CFSv1 y los datos observados, entre los meses de agosto y marzo en el cual se observa niveles altos de correlación, entre los meses de enero y marzo se observan correlaciones mayores a 0.8 en todos los leads, las correlaciones decrecen en los últimos leads entre agosto y noviembre pero siguen manteniéndose correlaciones altas; las mínimas correlaciones se observa entre los meses de mayo y julio después del lead 5. En la Figura 5.40b, se observa el CC entre CFSv1 y los datos observados para el periodo 1984-2009, sin considerar los años 1997 y 1998, los CC disminuyen, se mantiene los mejores resultados en los meses mencionados en la figura anterior, el índice de 0.8 solo se mantiene hasta el lead 6 para los meses entre diciembre y febrero. En la Figura 5.40c el resultado de las correlaciones del modelo CFSv2 y los datos observados donde se observa el CC de 0.8 en el mes de enero en el lead 4 y 0.81 en diciembre para el lead 5, los coeficientes mayores se observan en los mismos meses de la Figura 5.40a, pero con resultados menores. El CC de la versión 2 del modelo CFS y los datos observados sin tomar en cuenta los años 1997 y 1998, en la Figura 5.40d los CC disminuyen comparándola con la figura anterior, los CC máximos solo se observan hasta el lead 2, los meses de agosto y setiembre son los que muestran los CC mínimos al igual que la figura anterior.

La Figura 5.41 muestra el resultado de los CC de las anomalías de TSM pronosticadas y observadas para la región Niño 3.4, la Figura 5.41.a muestra

los CC de CFSv1 y datos observados, donde los coeficientes mayores a 0.8 se observa entre los meses de enero y marzo hasta el lead 9, también se observa coeficientes mayores en los meses de octubre, noviembre y diciembre, hasta los leads 5, 6 y 7 respectivamente; los mínimos valores se muestran entre los meses de abril y agosto, decreciendo los CC al incrementarse los leads. La Figura 5.41b, corresponde al modelo CFSv1 y datos observados para el periodo 1984-2009, sin los años 1997 y 1998, los mayores CC se mantiene en los mismos meses mencionados en la figura anterior pero con menor valor, el CC mayor a 0.8 solo se mantiene hasta el lead 8 en los meses de febrero y marzo y hasta los leads 5 y 6 para los meses de noviembre y diciembre respectivamente. La Figura 5.41c, es el resultado del CC de CFSv2 y datos observados para el periodo 1983-2010, se observa que el CC es mayor o igual a 0.8 en el mes de enero y marzo en el lead 4 y 0.81, y en el lead 5 con el índice de 0.82 en los meses de noviembre y diciembre. En la Figura 5.41d los resultados del CC del modelo CFSv2 y los datos observados para el periodo 1983-2010 sin tomar en cuenta los años 1997 y 1998, se observa que los CC disminuyen con respecto a la figura anterior, los CC máximos solo se observan hasta el lead 3 entre los meses enero y junio, para los meses de noviembre y diciembre hasta el lead 4; los meses entre julio y setiembre son los que muestran los CC mínimos al igual que la Figura 5.41c.

En la Figura 5.42 se observa el CC de anomalías de TSM pronosticadas y observadas para la región Niño 4, la Figura 5.42a es el resultado del modelo CFSv1 y los datos observados para el periodo 1982-2009, se muestra los CC mayores o igual a 0.82 entre los meses de febrero y marzo tomando como límite el lead 7, en el mes de enero el CC es de 0.81 tiene como límite el lead 6, los meses de noviembre y diciembre con CC mayores 0.8, solo hasta el lead 4; los mínimos valores se muestra entre los meses de junio y julio, el índice decrece al incrementarse los leads en los meses de inicio del pronóstico. En la Figura 5.42b el CC de los datos del modelo CFSv1 y los datos observados en el periodo 1984-2009, sin tomar los años 1997 y 1998, los CC de correlación se incrementan comparándolos con la Figura 5.42a, se mantiene los mejores resultados en los meses mencionados en la figura anterior, además el índice es mayor de 0.84 en esos meses, se muestra los mínimos CC en junio y julio. La Figura 5.42c, es el resultado del modelo CFSv2 y los datos observados se

observa el CC de 0.87 en el mes de febrero en el lead 3, los valores mayores e igual a 0.81 se observan entre los meses de setiembre y diciembre, y en el mes de marzo hasta el lead 4. En la Figura 5.42d para el resultado del CC entre los modelos CFSv2 y datos observados, sin tomar en cuenta los años 1997 y 1998 los coeficientes de correlación disminuyen comparándola con la Figuras 5.42b y 5.42c, los CC máximos solo se observan hasta el lead 4 entre los meses de setiembre y noviembre, también para el mes de marzo.

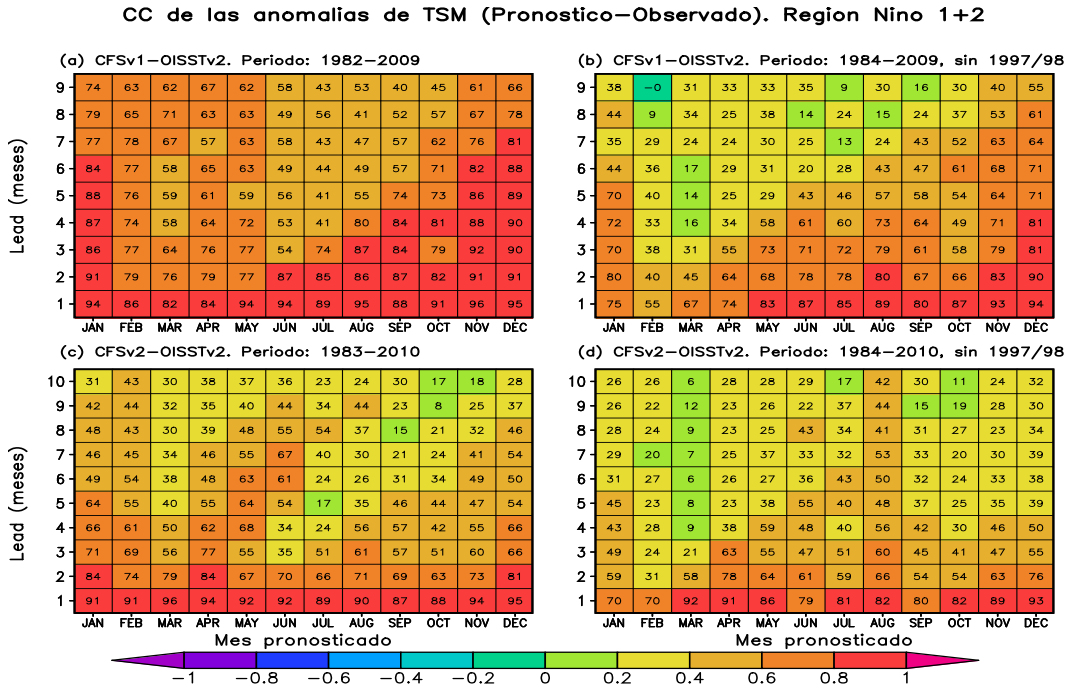


Figura 5.39: CC de las anomalías de TSM para la región Niño 1+2, a)CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 1983-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

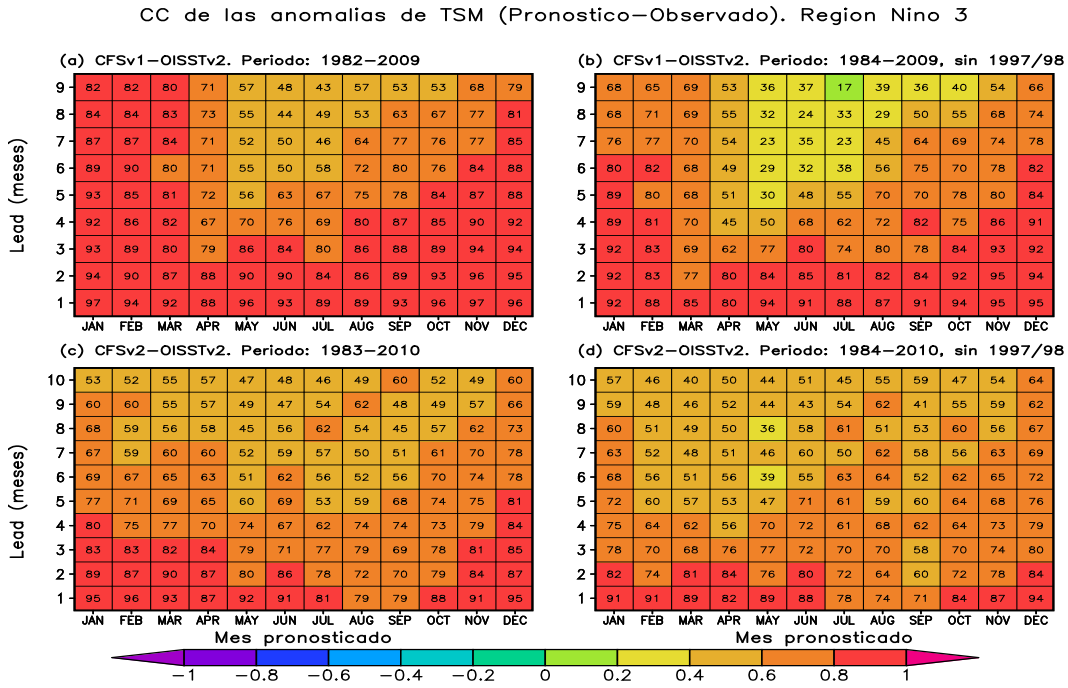


Figura 5.40: CC de las anomalías de TSM para la región Niño 3, a)CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 1983-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

CC de las ATSM (Pronostico-Observado). Region Nino 3.4

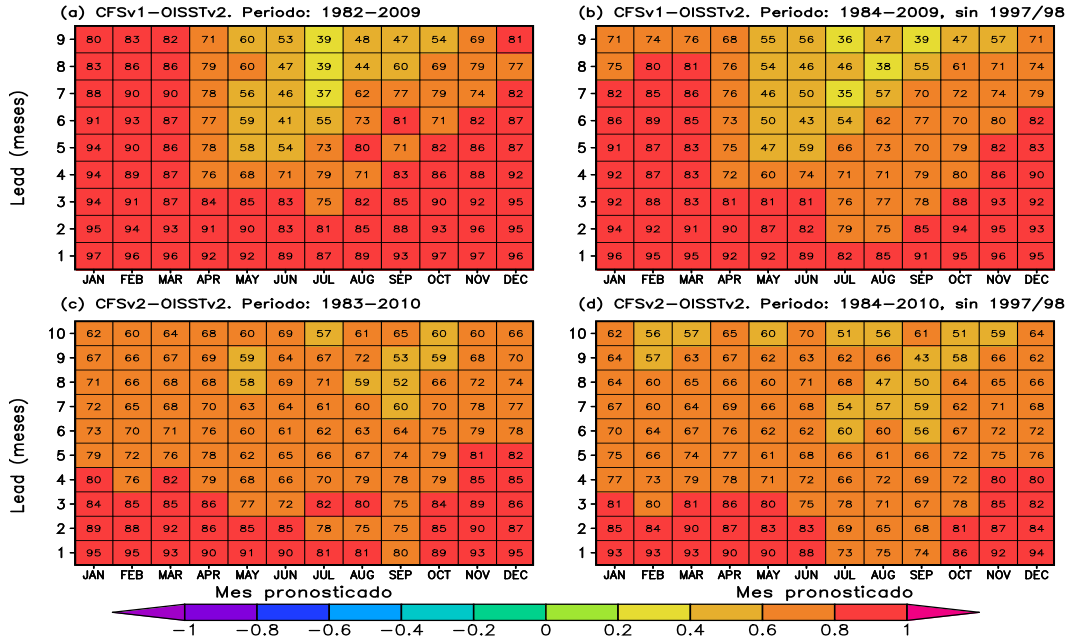


Figura 5.41: CC de las anomalías de TSM para la región Niño 3.4, a)CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 198-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

CC de las ATSM (Pronostico-Observado). Region Nino 4

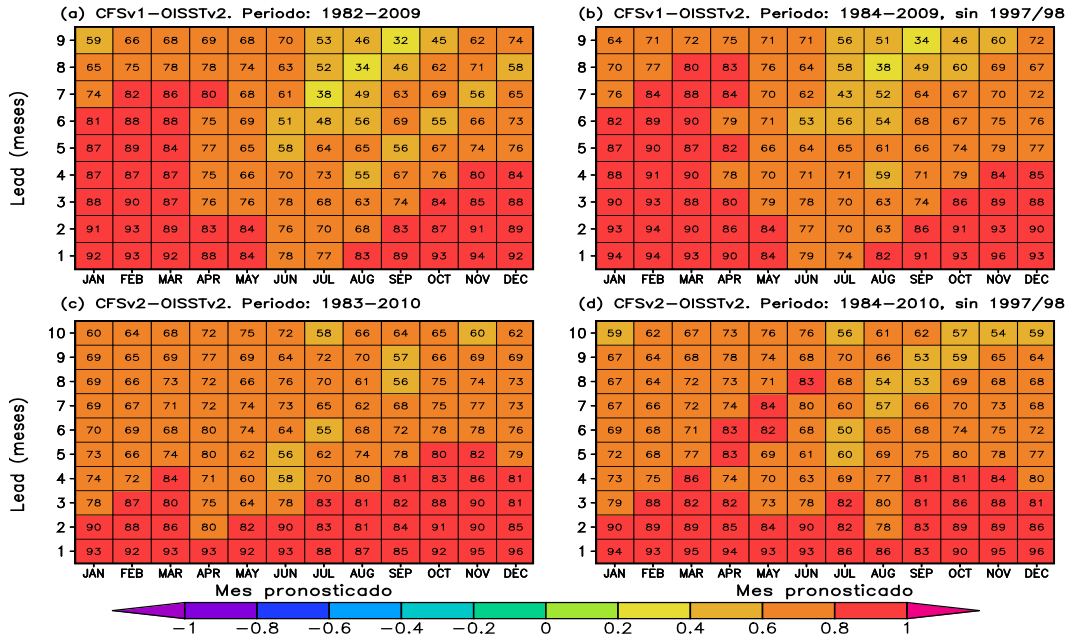


Figura 5.42: CC de las anomalías de TSM para la región Niño 4, a)CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 198-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

5.3. Error de raíz cuadrada media ERCM

El ERCM de los pronósticos y los datos observados se muestran en figuras de contorno en función del mes en el cual se hace el pronóstico (eje horizontal) y el número de leads de anticipación (eje vertical), el lead 1 corresponde al mes en el que se tomo como condiciones iniciales. Los valores más cercanos a cero son los mejores resultados, caso contrario, mientras más alejado del cero nos indicaría un alto error. Los valores en las tablas fueron multiplicados por el factor 10 para poder ser mejor observados.

5.3.1. Error de raíz cuadrada media ERMC entre las ATSM de CFS y ATSM observada.

La Figura 5.43, muestra los resultados de ERCM para la región Niño 1+2, para la Figura 5.43a con los datos de CFSv1 y OISST-v2, en el periodo 1982-2009 el máximo incremento se da entre los meses de abril y agosto con valores entre 1°C y 1.4°C con condiciones iniciales de los meses de verano. La Figura 5.43b con los mismos datos de la figura anterior, pero para el periodo 1984-2009 sin considerar los años 1997-1998 los ERCM disminuyen de manera ligera comparado con la Figura 5.43a, los mínimos errores se encuentran en los meses de diciembre y enero hasta el lead 9. En la Figura 5.43c se muestran los resultados del modelo CFSv2 y los datos observados para el periodo 1983-2010, en donde se aprecian los mayores errores en los meses de abril y octubre después del lead 4. En la Figura 5.43d para el periodo 1984-2010 sin tomar en cuenta los años 1997 y 1998, los CC de error disminuyen comparando con la Figura 5.43c. El incremento de error de los CC para las Figuras 5.43a y 5.43c pueden tener como respuesta que los pronósticos de las dos versiones del modelo CFS no alcanzan las anomalías máximas de los eventos Niño extraordinarios.

Para la Figura 5.44 se observa los resultados de ERMC para la región Niño 3, la Figura 5.44a muestra el resultado del modelo CFSv1 y los datos observados para el periodo 1982-2009, los meses de enero a mayo, y de setiembre a diciembre tiene bajo valor de error en los primeros 2 leads entre 0.3 y 0.4°C , entre los meses de febrero y abril se tienen ERCM con un alto error después del lead 4 con errores iguales y mayores a 0.8°C . La Figura 5.44b con la

misma versión de modelo de la figura anterior para el periodo 1984-2009 sin considerar los años 1997-1998 se muestra un ligero incremento en los errores, los cuales son más evidentes en los meses de agosto y noviembre con $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ de *ERCM* respectivamente, la Figura 5.44c muestra el resultado del modelo CFSv2 y datos observados de TSM para el periodo 1983-2010 se tiene un alto error de noviembre a enero con hasta $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, los errores son mayores al compararlo con la Figura 5.44a. La Figura 5.44d, es el resultado de la versión 2 del modelo CFS y los datos observados para el periodo 1984-2010 sin tomar los años 1997-1998, los resultados son similares a la figura anterior Figura 5.44C, y muestran menor diferencia de error que la figura anterior.

La Figura 5.45 muestra los resultados *ERMC* para la región Niño 3.4. En la Figura 5.45a los datos del modelo CFSv1 y datos observados para el periodo 1982-2009, donde los errores menores se observa en el primer leads de enero a diciembre con errores entre $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. La Figura 5.45b para la versión 2 del modelo, para el periodo 1984-2009 sin considerar los años 1997-1998 se observa que los menores errores se encuentran entre los meses de enero y febrero en todos sus leads. La Figura 5.45c para el modelo CFSv2 y los datos observados se observa que se mantiene los menores errores en los mismos meses como en CFSv1, en la mayoría de sus leads. En la Figura 5.45d, el modelo CFSv2 y los datos observados para el periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998 los mínimos errores practicamente coinciden con los de la Figura 5.45c.

La Figura 5.46 muestra los resultados para la región Niño 4 en donde la Figura 5.46a muestra el resultado del índice de correlación del modelo CFSv1 y los datos observados. Los menores índices de error se encuentran en los meses de mayo y junio en los primeros 3 leads entre 0.3 y $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. La Figura 5.46b para la misma versión del modelo anterior y para el periodo 1984-2009 sin tomar los años 1997-1998 los mínimos errores se encuentra en los mismos meses y el *ERCM* es $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. La Figura (5.46c) los CC para el periodo 1983-2010 del modelo CFSv2 y datos observados, muestra *ERCM* similares a los primeros lead de la Figura 5.46a en los últimos lead se ve alta variabilidad al igual que en la Figura 5.46d, que es para el periodo 1984-2010 sin considerar los años 1997-1998, se observa mínimos *ERCM* en el primer lead para los meses de mayo y junio en casi todo los leads.

ERCM de las ATSM (Pronostico-Observado) Region Nino 1+2

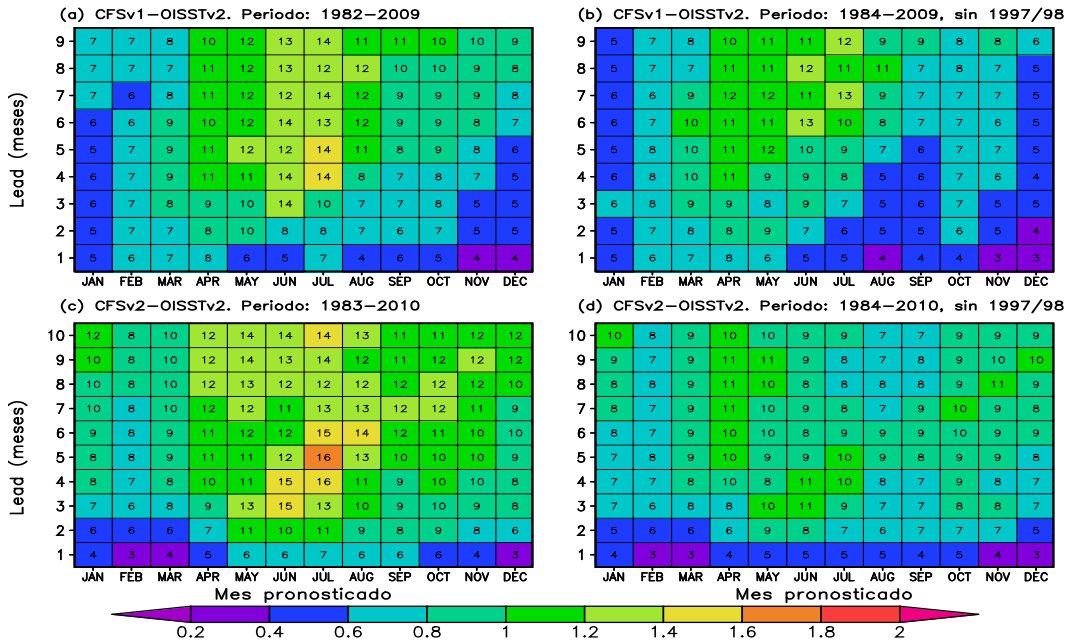


Figura 5.43: ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 1+2, a)CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 198-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

ERCM de las ATSM (Pronostico-Observado). Region Nino 3

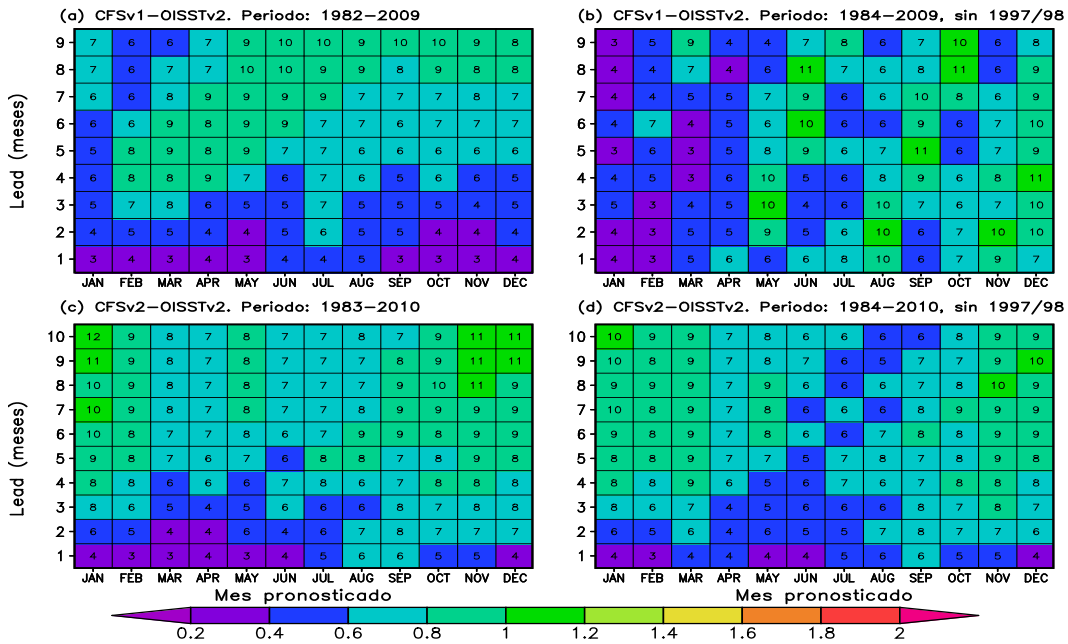


Figura 5.44: ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 3, a)CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 198-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

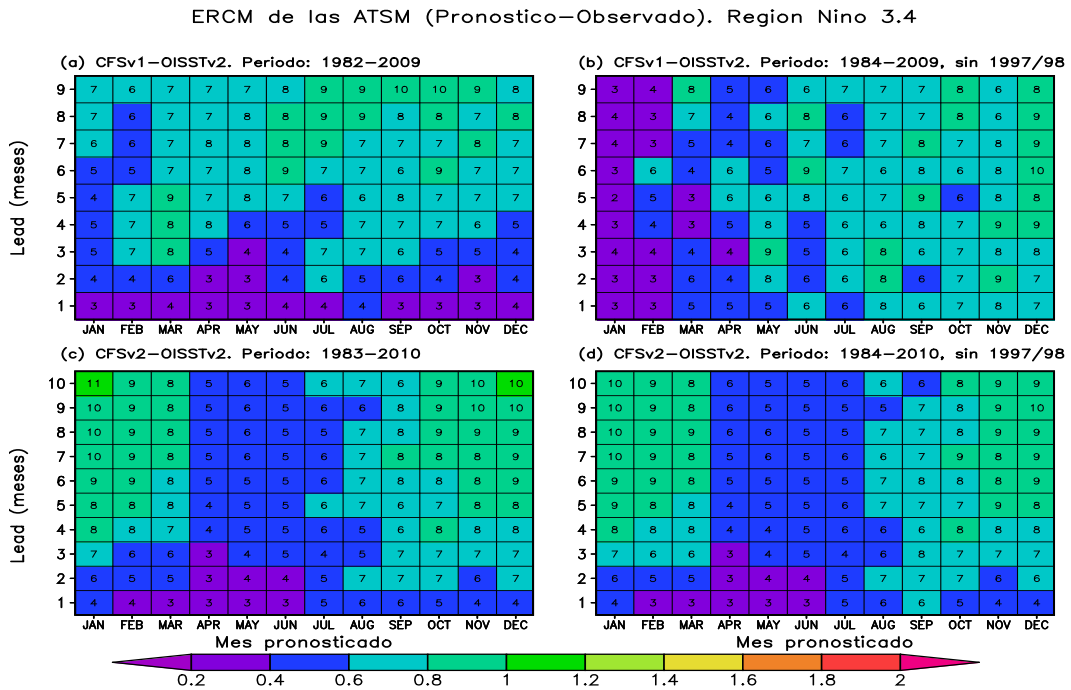


Figura 5.45: ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 3.4, a) CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 198-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

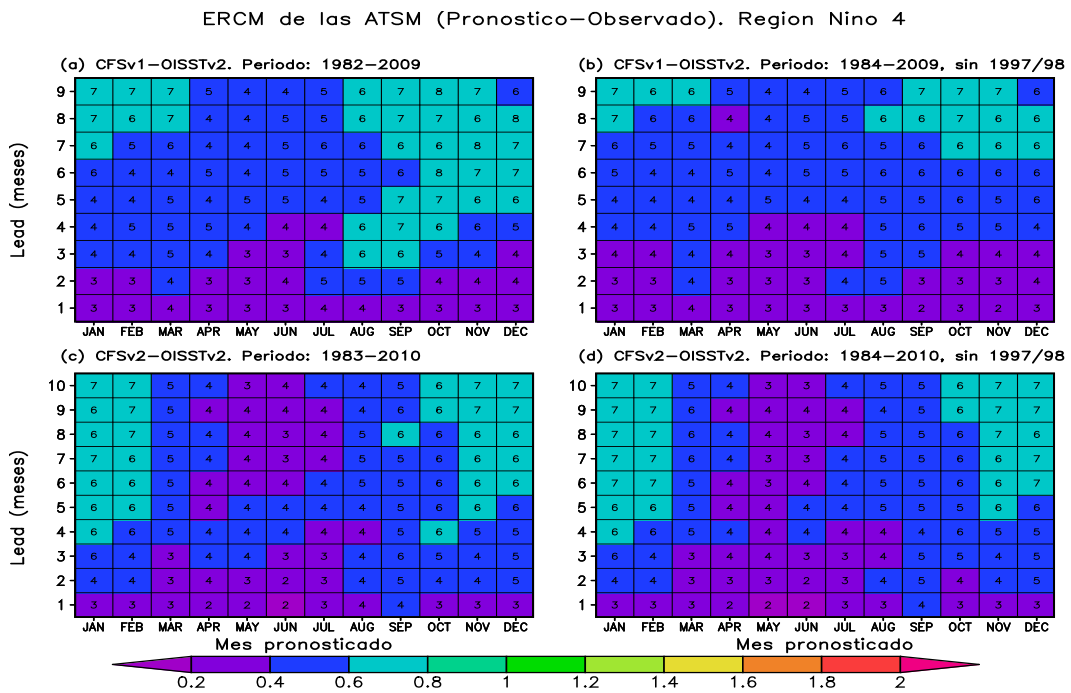


Figura 5.46: ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 4, a) CFSv1-OISSTv2, periodo 1982-2009; b) CFSv1-OISSTv2, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-OISSTv2, periodo 198-2010; d) CFSv2-OISSTv2, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

5.4. Coeficientes de correlación (CC) entre ATSM pronosticada (CFS) y observada (OISST-v2) por periodos.

Se estimó y analizó también los CC entre las ATSM de las dos versiones del modelo CFS y las anomalías de los datos observados de OISSTv2 para periodos entre ocho y diez años en las cuatro regiones Niño. En la Figura 5.47a para la región Niño 1+2, se observa el CC con los datos de anomalías de TSM de CFSv1 y OISST-v2 para el periodo 1982-1990, donde se observó altos CC entre los meses de agosto y mayo en la mayoría de los leads, mientras que los menores coeficientes se observó en los meses de junio y julio entre los leads 3 y 7; las condiciones iniciales de los meses de marzo y abril no generan coeficientes altos para los leads 4 y 3, es decir los pronósticos en los meses de junio y julio muestran menores correlaciones después de los leads 3 y 4. En la Figura 5.47c el CC del modelo CFSv1 y los datos observados para el periodo 1991-2000 muestra los CC máximos entre los meses de octubre y mayo, los meses que muestran CC menores son los meses junio y julio después del lead 2, sin embargo estos resultados no son tan mínimos ya que sus valores se encuentran entre 6.3 y 7.7, los resultados en este periodo muestran coeficientes mayores comparado con la figura anterior. En la Figura 5.47e el CC entre el modelo CFSv1 y los datos observados para periodo 2001-2009, los CC disminuyen comparando con los resultados de las Figuras 5.47a y 5.47c, se tiene los mínimos CC en los meses de febrero y marzo desde el primer y segundo mes de pronóstico, donde se muestra los CC negativos al incrementarse los leads. La Figura 5.47b, es el resultado de CC de CFSv2 y los datos observados para el periodo 1983-1990, se observa que los coeficientes mayores a 0.7 se encuentra entre los meses de enero y mayo, para los meses de junio a diciembre solo los dos primeros leads son mayores al coeficiente 0.7, por lo tanto los menores CC se encuentran a partir del lead 4 para los meses de junio a diciembre, excepto el mes de agosto y setiembre que tienen CC altos hasta los leads 4 y 5. En la Figura 5.47d, los resultados del CC del modelo CFSv2 y los datos observados para el periodo 1991-2000, en general los mayores CC se encuentran entre octubre y mayo, sin embargo los leads 4 y 3 disminuyen para los meses de abril y mayo, los menores CC se encuentran entre los me-

ses de junio y julio después del lead 2, para los meses de mayo y junio estos CC son menores a los observados en la Figura 5.47b. En la Figura 5.47f, las correlaciones entre CFSv2 y los datos observados para el periodo 2001-2010 disminuyen y se observa correlaciones negativas al incrementar los leads entre los meses de febrero y julio, la correlación disminuye al seguir la secuencia de los meses e incrementando los leads. El CC del modelo CFSv2 son menores en los dos primeros periodos, en el tercer periodo a pesar de que en las dos versiones del modelo CFS se observan correlaciones negativas en los primeros meses del año, el modelo CFSv2 muestra correlaciones mayores que el CFSv1.

En la Figura 5.48a el CC para CFSv1 y los datos observados para la región Niño 3, muestra valores altos para los primeros 4 leads con valores ente 0.82 y 0.98, sin embargo el mes de abril tiene un coeficiente menor con el valor de 0.74 en el lead 4; los CC son menores entre los meses de abril y setiembre, después del lead 6, no obstante el resultado es bueno con CC mayores a 0.62. En la Figura (5.48c) los datos del modelo CFSv1 y datos observados para el periodo 1991-2000 muestra CC altos entre los meses de setiembre y marzo; los coeficientes de correlación son menores entre los meses de junio y julio después del lead 4, además en el mes de agosto después del lead 5, la imagen anterior (Figura 5.48a) también mostraba los coeficientes menores en estos meses sin embargo sus valores son superiores a los de la Figura 5.48c. La Figura 5.48e para el periodo 2001-2009 del modelo CFSv1 y datos observados muestra el CC máximos entre los meses de agosto y marzo, los CC mínimos se encuentran entre abril y julio después del lead 3, el lead 4 del mes de mayo muestra el índice correlación igual a 6 siendo bastante menor comparado con los demás meses en el mismo lead, el pronóstico con condiciones iniciales en el mes de marzo no es acertado para el mes de mayo, en los últimos leads entre los meses de abril y setiembre los CC se hacen negativos, en general los resultados son menores comparado con los coeficientes de los periodos de las Figuras 5.48a y 5.48.c. El CC en el periodo 1983-1990 con los datos CFSv2 y OISSTv2 Figura 5.48b, las correlaciones son altas ente los meses enero y junio en todos los leads, los coeficientes disminuyen entre los meses julio y noviembre, más aun después del lead 5, en el mes de diciembre después del lead 6 los CC son menores. En la Figura 5.48d los resultados del CC para el periodo 1991-2000 del modelo CFSv2 y los datos observados son más acertados entre los meses de diciembre

y abril en todos los leads, los CC disminuyen después del lead 3 entre los meses abril y julio, aunque sus resultados son confiables para los lead 3 y 4; entre los meses de agosto y noviembre también disminuye los CC en los últimos leads. La Figura 5.48f muestra el CC del modelo CFSv2 y datos observados para el periodo 2001-2010, los CC son menores comparados con las Figuras 5.48b y 5.48d. Los CC mayores a 0.75 se muestran entre los meses de agosto y marzo hasta el lead 4, los menores CC se encuentran entre los meses de mayo y junio, el lead 3 del mes de mayo tiene bajo CC, los coeficientes se hacen negativos entre el lead 5 y 10 del mes de mayo, para el mes de junio después del lead 7. El CC del modelo CFSv2 es menor el primer periodo comparado con el primer periodo de CFSv1, en el segundo periodo algunos meses del CFSv2 son menores con respecto al CFSv1, en el caso del tercer periodo los meses con CC negativos son menores comparados con la primera versión del modelo.

La Figura 5.49.a, para la región Niño 3.4 se observa los resultados del CC para el periodo 1982-1990 del modelo CFSv1 y los datos observados, en el cual los coeficientes son mayores para todos los leads de los meses entre noviembre y abril con CC mayores a 0.8; los meses entre mayo y octubre son mayores hasta el lead 5, en los leads siguientes disminuye el CC en algunos leads más que otros, se observa además el menor CC en el mes de julio en el lead 9 con el valor de 0.45. La Figura 5.49c muestra los resultados del CC de CFSv1 y datos de OISSTv2 para el periodo 1991-2000, en el cual se mantiene el CC alto entre los meses de octubre y mayo, siendo mayor a 0.8, sin embargo disminuye en los leads 5 y 6 del mes de mayo y en los dos últimos leads del mes de octubre y noviembre, el mes de junio muestra menores CC desde el lead 4, los meses entre julio y setiembre son los que muestran los CC menores después del lead 5. En la Figura 5.49e el CC del periodo 2000-2009 del modelo CFSv1 y los datos observados, muestra que los máximos valores se observan entre los meses de octubre y abril, por otro lado se muestra que los coeficientes son menores en los meses mayo y octubre, el pronóstico para el mes de mayo con condiciones iniciales en el mes de enero tiene poca confiabilidad al igual que el pronóstico de mayo con tres leads de anticipación, en los últimos meses se observa correlaciones negativas entre los meses de julio y agosto. Los CC disminuyen comparando con los dos periodos anteriores (1982-1990 y 1991-2000). La Figura 5.49b es el resultado del CC para el modelo CFSv2 y datos

observados del periodo 1983-1990, los CC son altos entre los meses de diciembre y junio en todos los leads, para los meses julio y noviembre los CC son cercanos a 1 en sus primeros leads, por otro lado los meses de julio y agosto muestran coeficientes menores en sus primeros lead. En la Figura 5.49d los resultados del CC para el periodo 1991-2000, con datos de CFSv2 y observados, los máximos CC se observa entre los meses de noviembre y abril, sin embargo los meses de noviembre y diciembre muestra coeficientes menores en los leads 9 y 10, los menores coeficientes se observa en el mes de junio desde el lead 3, los meses de mayo y entre los meses de julio y octubre los coeficientes son menores desde el lead 5 y se incrementan en relación a los siguientes meses. La Figura 5.49f muestran resultados del modelo CFSv2 y datos observados para el periodo 2001-20010, ello muestran que los CC disminuyen comparados con los dos periodos anteriores (1983-1990 y 1991-2000), el mes de mayo muestra los coeficientes más bajos en los leads 9 y 10. Aunque siguen siendo bajas entre los meses de junio y octubre después del lead 5. Los resultados de la segunda versión del modelo muestran mejoras en sus resultados de correlación para el último periodo comparado con el último periodo del CFSv1. El CC del modelo CFSv2 muestra mejores resultados que en la primera versión. En el tercer periodo (Figura 5.49e) se observa correlaciones menores entre los meses de mayo y octubre, en los meses con CC menores son mayores comparado con la primera versión del modelo, además no se observaron correlaciones negativas.

La Figura 5.50a muestra el CC del modelo CFSv1 y los datos observados para el periodo 1982-1990 en la región Niño 4. Los CC mayores a 0.82 se observa entre los meses octubre y julio hasta el lead 5, se observa también coeficientes menores en los primeros leads de los meses de agosto y setiembre con CC de 0.72 y 0.76 en el lead 2 y 4 respectivamente, los coeficientes decrecen después del lead 6 entre los meses mayo y setiembre. En el periodo 1991-2000 el CC para el modelo CFSv1 y los datos observados, Figura 5.50c se observa correlaciones altas en todos los meses hasta el lead 7, a excepción del mes de julio que tiene el valor de 0.54. En el CC para del CFSv1 y los datos observados en el periodo 2001-2009, Figura 5.50 se tiene CC altos entre enero y abril, entre los meses de mayo y julio se observa CC altos hasta el lead 6, los mismos resultados entre octubre y diciembre, agosto y setiembre tiene coeficientes menores, sin embargo en los primeros 4 leads sus resultados aún son confiables entre 0.63

y 0.94. El CC del modelo CFSv2 y los datos de OISSTv2 para el periodo 1983-1990, Figura 5.50b, se observa la correlación con valores mayores a 0.87 entre los meses enero y abril entre el lead 1 y 7; en el lead 3 del mes de mayo se observa una correlación de 0.67 y el lead 2 del mes de julio 0.75, éstas son las correlaciones menores en los primeros leads. En el modelo CFSv2 y los datos observados, Figura 5.50d para el periodo 1991-2000, se observa CC entre 0.98 y 0.71 entre los meses enero y abril, entre los meses de setiembre y diciembre se observa CC entre 0.98 y 0.81 en los primeros 6 leads, después los CC decrecen al igual entre los leads 5 y 10 entre los meses de mayo y agosto. El CC del modelo CFSv2 y los datos observados, Figura 5.50f para periodo 2001-2010, muestra coeficientes altos hasta el lead 5 con CC entre 0.98 y 0.68, los coeficientes decrecen entre abril y agosto después del lead 6. El CC del modelo CFS muestra resultados similares para las dos versiones del modelo en el primer periodo, en el segundo periodo el modelo CFSv2 mostro CC menores que la primera versión del modelo, siendo más notorio entre los meses de mayo y agosto a partir del lead 4, para el tercer periodo los CC, también son menores siendo más evidente la diferencia que en el periodo anterior.

CC de las ATSM (Pronostico–Observado). Region Niño 1+2

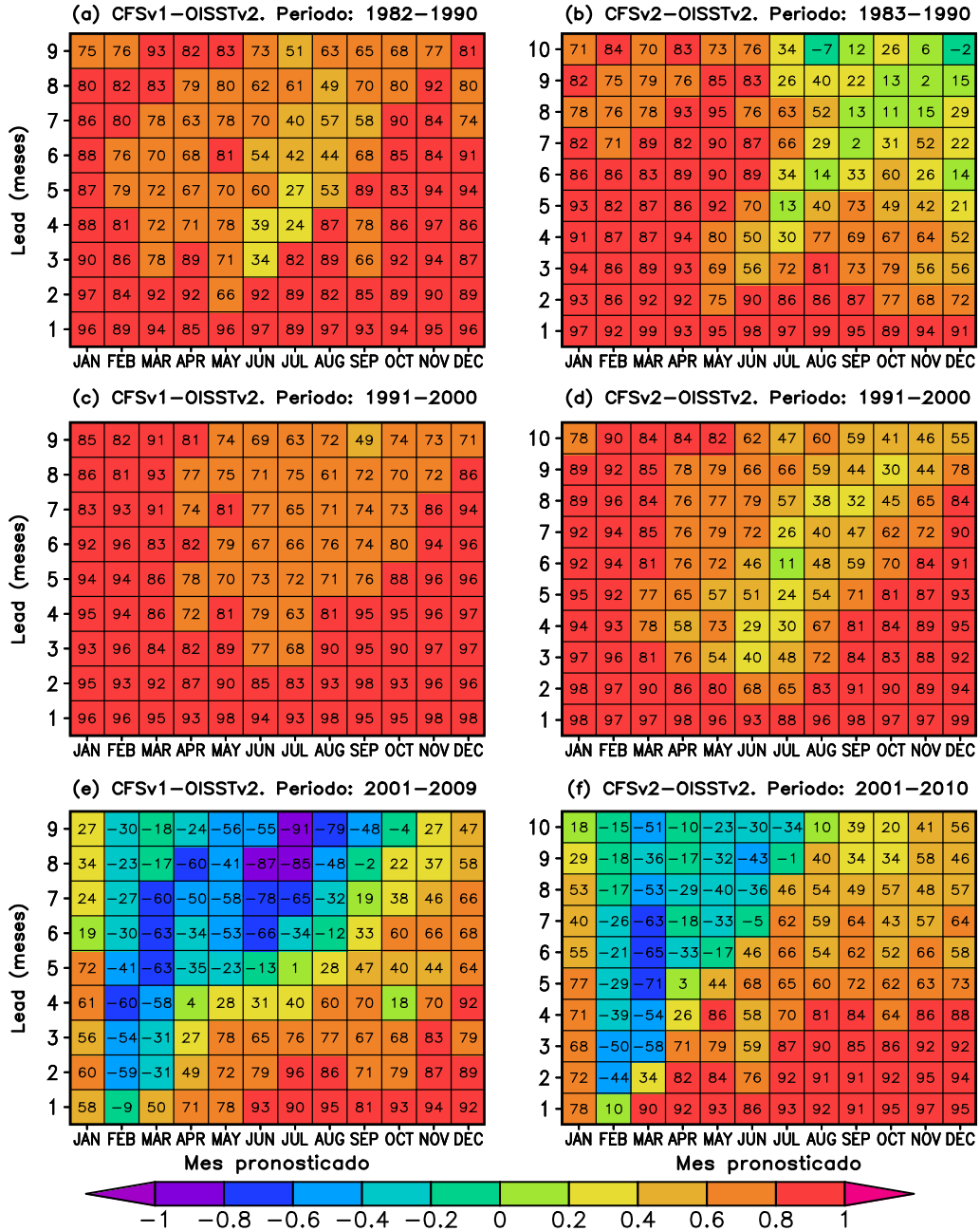


Figura 5.47: CC de las anomalías de TSM para la región Niño 1+2, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.

CC de las ATSM (Pronostico-Observado). Region Nino 3

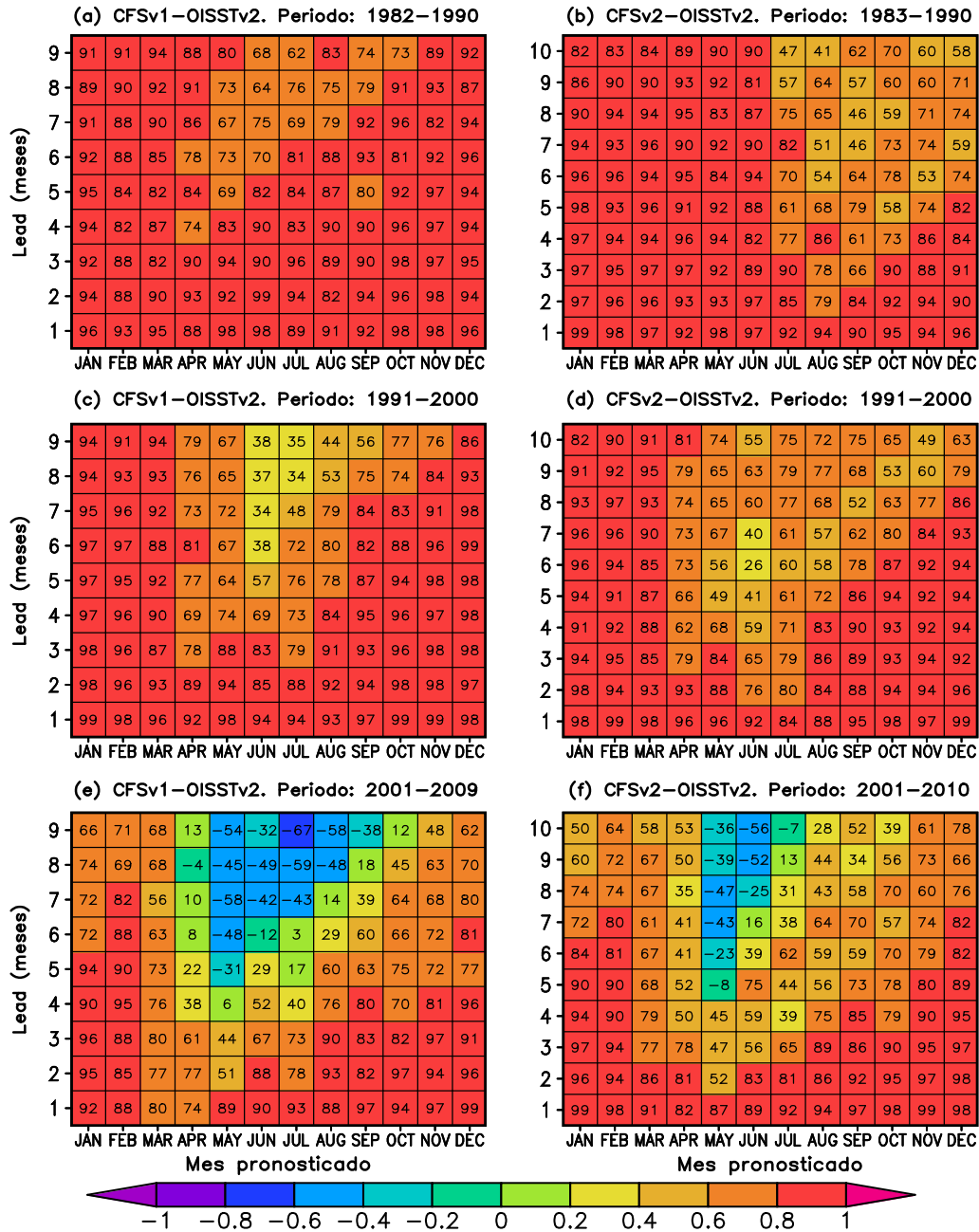


Figura 5.48: CC de las anomalías de TSM para la región Niño 3, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.

CC de las ATSM (Pronostico–Observado). Region Nino 3.4

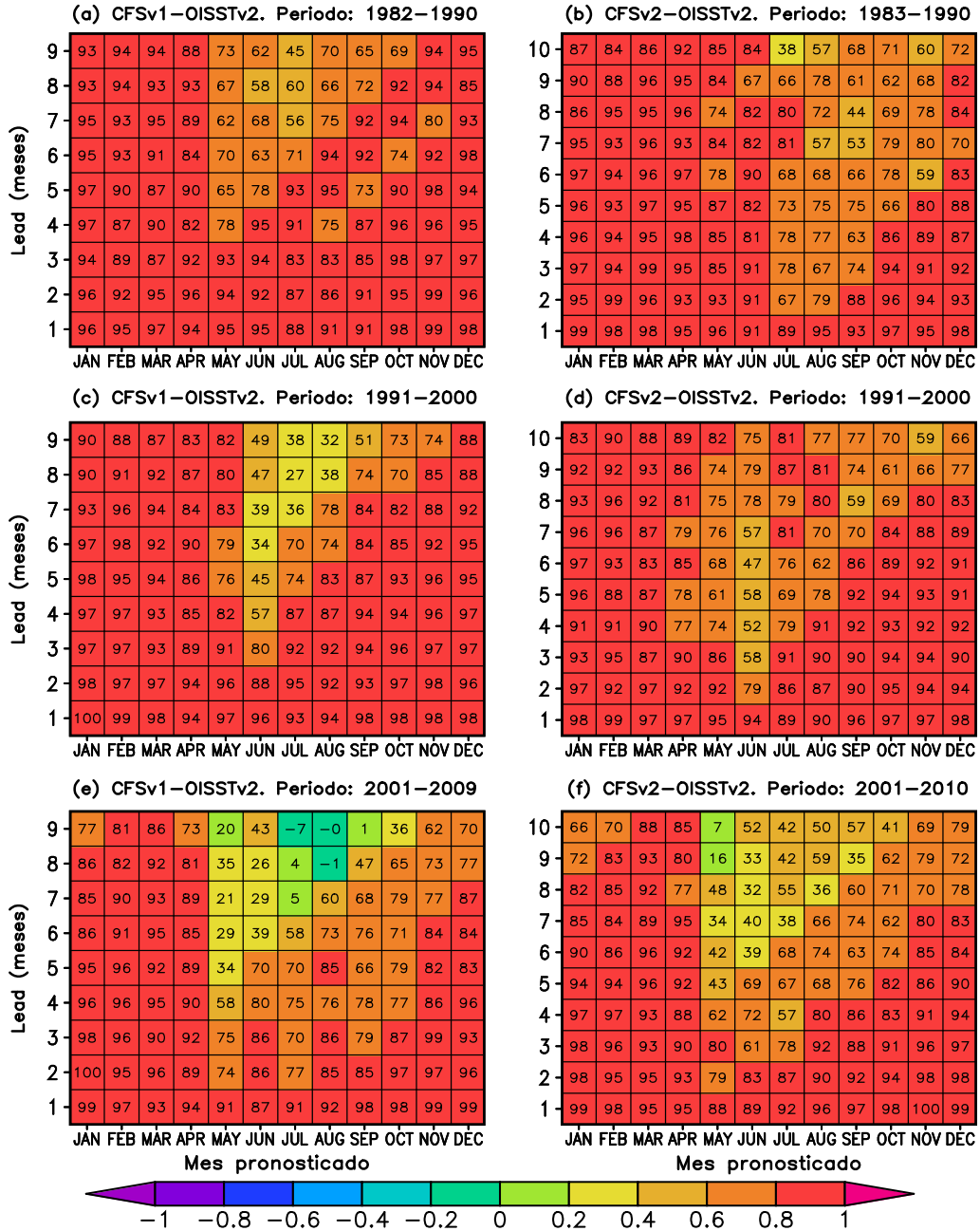


Figura 5.49: CC de las anomalías de TSM para la región Niño 3.4, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.

CC de las ATSM (Pronostico-Observado). Region Nino 4

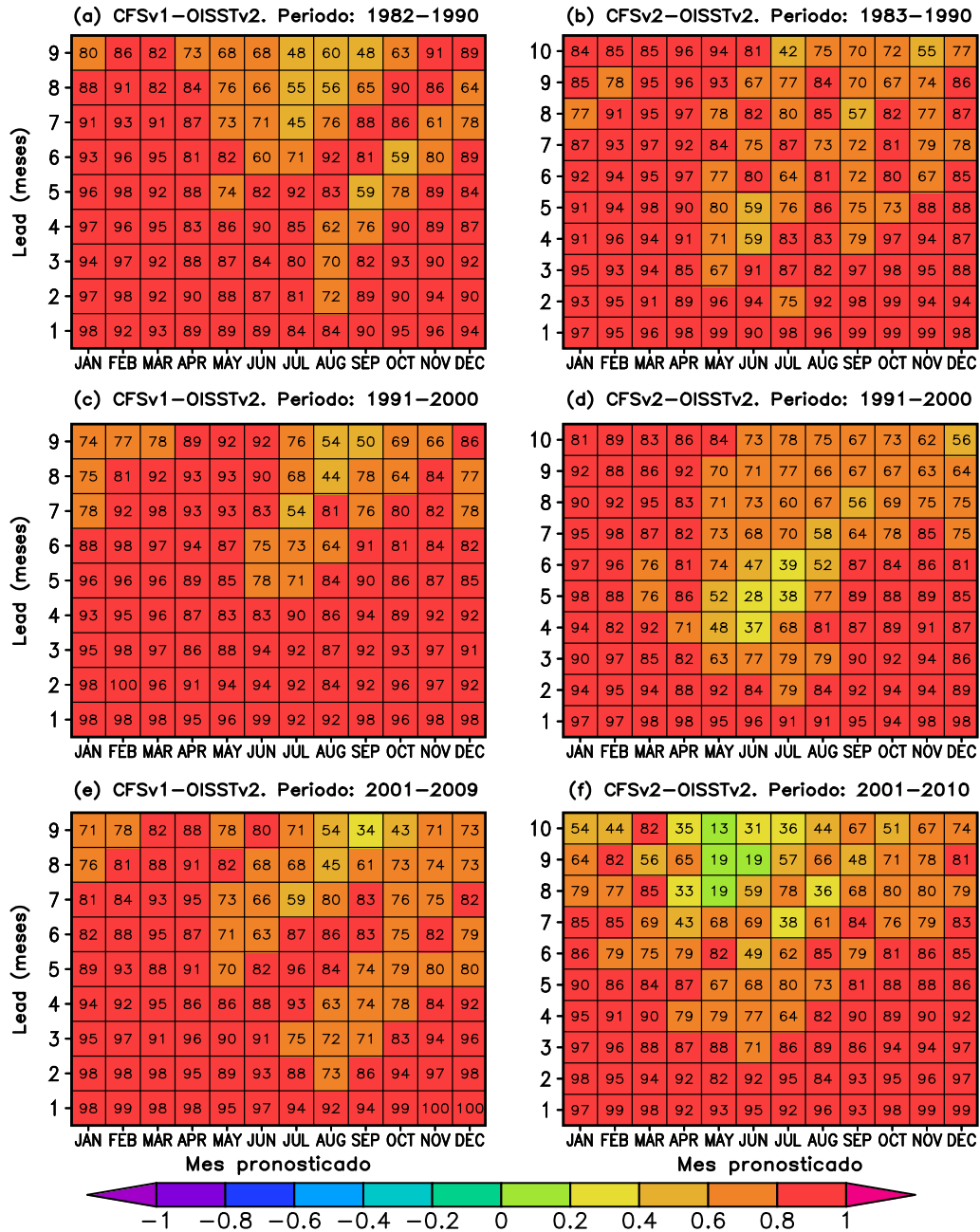


Figura 5.50: CC de las anomalías de TSM para la región Niño 4, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.

5.5. Error de raíz cuadrada media entre ATSM pronosticada CFS y observada OISSTv2 por periodos

En la región Niño 1+2, los menores ERCM del modelo CFSv1 y los datos observados en el periodo 1982-1990, en la Figura 5.51a se encuentra entre los meses setiembre y marzo con valores entre $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, en el mes de mayo en el lead 2 se observa el error de $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, después del lead 4 el error es mayor a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre los meses de abril agosto, los máximos errores se observa en los leads 3 y 4 de los meses junio y julio cuyo valor es $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$. El error entre el modelo CFSv1 y los datos observados del periodo de 1991-2000, en la Figura 5.51c, se observa los menores errores a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en los meses entre enero y marzo en todos sus leads, para los meses de octubre, noviembre y diciembre hasta los leads 5, 6 y 8 respectivamente; el máximo error es de $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ el cual se puede observar en el lead 3 del mes de julio y en los últimos leads entre los meses mayo y setiembre. En el periodo 2001-2009 para el modelo CFSv1 y los datos observados, Figura 5.51e se observa errores menores a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en los meses de diciembre y enero en sus todos sus leads, para los meses de febrero y marzo se observan errores mayores a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a partir de los lead 3 y lead 2, el error también se incrementa en los meses siguiente con el incremento de los leads, el máximo error se observa en los leads 8 y 9 para los meses junio y julio con un valor de $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. En el periodo 1983-1990 para el modelo CFSv2 y los datos observados, Figura 5.51b, los CC menores a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ están entre los meses de noviembre y marzo, los meses con mayor error se pueden apreciar desde el lead 2 para los meses mayo y julio con errores iguales o mayores a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, el error máximo se encuentra en el lead 5 del mes de julio con el valor de $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. La Figura 5.51d para los resultados de ERCM del CFSv2 y los datos observados para el periodo 1991-2000, muestra errores menores a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre los meses de enero y marzo en todos los leads, para el mes de diciembre hasta el lead 8, los errores altos se encuentran en el mes de julio con un valor de $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a partir del lead 4, al comparar estos resultados con la figura anterior se observa incremento en el ERCM. En la Figura 5.51f, se observa los resultados del ERCM del modelo CFSv2 y los datos observados para el periodo 2001-2010, se tiene los errores menores a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre los meses de noviembre y febrero, el mes de marzo es

el que muestra el error alto en el lead 4, en los siguientes leads el error se incrementa de forma similar en los meses siguientes, el error máximo es de 1.1 °C. En la región Niño 1+2, La última versión del modelo CFS muestra errores levemente superiores a los de la versión 1 en el primer periodo, además de los meses entre abril y agosto también muestra errores en los meses de setiembre y octubre en los últimos leads, para el segundo periodo es similar al primer periodo, el tercer periodo muestra resultados diferentes, ya que en la primera versión se ve que los índices de ERCM son mayores a los de la segunda versión y también toma más meses en los últimos leads

El ERCM para la región Niño 3, se observó que para el caso del modelo CFSv1 y los datos observados, para el periodo 1982-1990, Figura 5.52a, los errores muestran variabilidad en los leads y meses, el ERCM mayor es 0.9 °C en los leads 4 y 5 para los meses febrero y marzo, también se observa este error en los últimos leads entre los meses mayo y julio. En el periodo 1991-2000 el ERCM del modelo CFSv1 y OISSTv2, Figura 5.52c, se encuentran los menores errores a 1 °C entre los meses de setiembre y febrero, el lead 3 del mes de marzo tiene como error el valor de 1 °C, el máximo error es de 1.1 °C en el lead 9 del mes de junio. Los resultados del modelo CFSv1 y los datos observados para el periodo 2001-2009, Figura 5.52e se observa el ERCM mayor a 1 °C en el lead 4 del mes de marzo disminuyendo en los siguientes leads, para el mes de mayo el ERCM es mayor a 1 °C a partir del lead 5, y en los últimos leads entre los meses de mayo y setiembre. El modelo CFSv2 y los datos observados para el periodo 1983-1990, Figura 5.52b se observa los errores menores a 0.5 °C en todos los meses hasta el lead 3, también se puede apreciar gran variabilidad en los resultados de errores, el máximo error es igual a 1 en el lead 10 para el mes de diciembre. El ERCM de CFSv2 y de los datos observados, Figura 5.52d para el periodo 1991-2000, también se observan errores menores a 1 °C en todos los meses hasta el lead 7, el error más alto se encuentran en el lead 10 con el valor de 1.2 °C. Para el modelo CFSv2 y los datos observados, el ERCM para el periodo 2001-2010, Figura 5.52f, se observa errores igual a 1 °C en los meses de noviembre y diciembre en los leads 9 y 10 respectivamente, los ERMS son menores comparados con la figura anterior. En la región Niño 3, en el primer y segundo periodo el modelo CFSv2 muestra que los índices de ERCM son levemente superiores, y los máximos errores no coinciden en los

meses respectivos de cada periodo. En el último periodo el error es mayor en la primera versión del modelo CFS, siendo más evidente en los últimos leads entre los meses de marzo y setiembre.

El ERCM para la región Niño 3.4, se observa los resultados del modelo CFSv1 y los datos observados para el periodo 1982-1990, Figura 5.53a, el error muestra variabilidad en todos los meses y leads, los errores mayores se encuentran en los primeros 5 leads de los meses febrero y marzo con el valor máximo de 0.8 °C. La Figura 5.53c es para el periodo 1991-2000 del modelo CFSv1 y los datos observados, se observa errores menores en los 2 primeros leads, los siguientes leads muestran variabilidad en todos los meses, el máximo error es 1 °C en los leads 8 y 9 para los meses de julio y agosto. En la Figura 5.53e para el periodo 2001-2009 del modelo CFSv1 y los datos de OISSTv2, se observa que en el mes de marzo se presenta errores altos entre los lead 3 y 5 con ERCM entre 0.7 y 0.9 °C, en los demás meses se ve variabilidad en función de los leads. La Figura 5.53b para el periodo 1983-1990 del modelo CFSv2 y los datos observados, se observa que entre los meses de febrero y abril se encuentran los menores errores en los primeros 6 leads con valores menores a 0.4 °C. La Figura 5.53d del modelo CFSv2 para el periodo 1991-2000 al igual que los resultados de la figura anterior se muestra variabilidad con errores menores a 1.1 °C, el cual se observa en lead 10 para los meses de noviembre y diciembre. Para la Figura 5.53f en el periodo 2001-2010 del modelo CFSv2 y los datos de OISSTv2, se observa variabilidad en todos los meses y se observa un error alto en el lead 4 del mes de octubre, el cual es 0.7 °C. En la región Niño 3.4, se observa que los errores del modelo CFSv2 son mayores a los del CFSv1 entre los meses de octubre y diciembre, en los demás meses se observa variabilidad en ambos modelos.

La Figura 5.54a muestra el resultado del modelo CFSv1 y los datos observados para el periodo 1982-1990 en la región Niño 4, se pueden observar altos errores en el mes de agosto aunque la diferencia es pequeña con los demás meses, similar también para el lead en los meses de agosto, setiembre y marzo. La Figura 5.54c es para el periodo 1991-2000 del modelo CFSv1 y los datos observados, los meses de agosto y setiembre muestra diferencias en los leads 2 y 3, al igual que el mes de setiembre solo para el lead 3. La Figura 5.54e el

ERCM para el periodo 2001-2009 del modelo CFSv1 y los datos observados, se observa poca variación en los errores de los primeros meses, el incremento del error se da en los últimos leads. En la Figura 5.54b para el periodo 1983-1990 del modelo CFSv2 y los datos observados se aprecia errores pequeños en los primeros leads, en el lead 1 se observa errores entre 0.1 y 0.3 °C. La Figura 5.54d para el periodo 1991-2000 del modelo CFSv2 y los datos observados se observa errores pequeños con ligeros incrementos en los últimos leads. En la Figura 5.54f para el periodo 2001-2010 del modelo CFSv2 y los datos observados, se muestra pequeños ERCM en los primeros leads, los errores altos se encuentran a partir del lead 5 para los meses enero y febrero y los meses de noviembre y diciembre para los leads 9 y 10. En los dos primeros periodos se observa condiciones similares ya que los errores tienen pequeñas diferencias, para el tercer periodo la versión 1 del modelo tiene menores errores.

ERCM de las ATSM (Pronostico–Observado). Region Nino 1+2

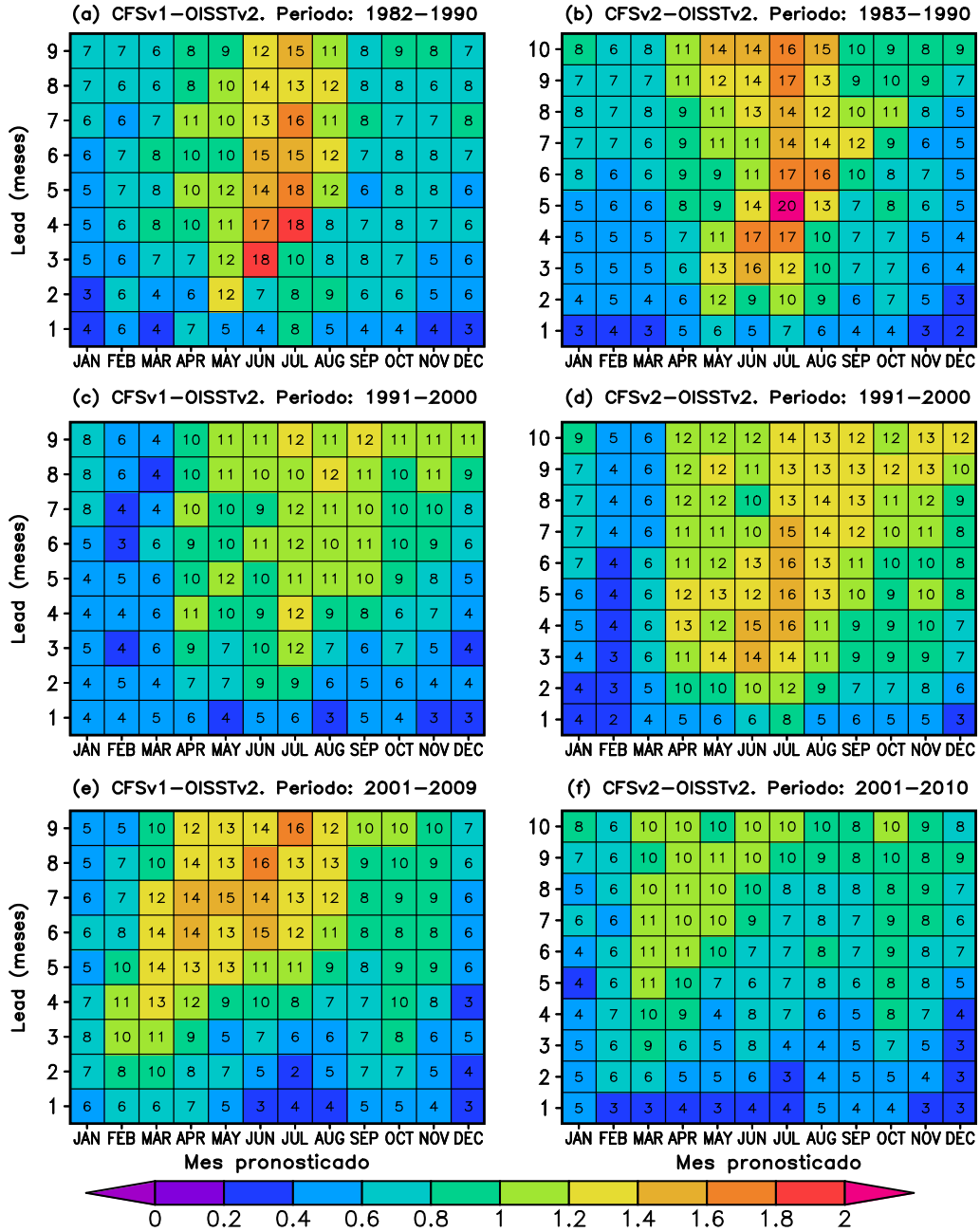


Figura 5.51: ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 1+2, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.

ERCM de las ATSM (Pronostico-Observado). Region Nino 3

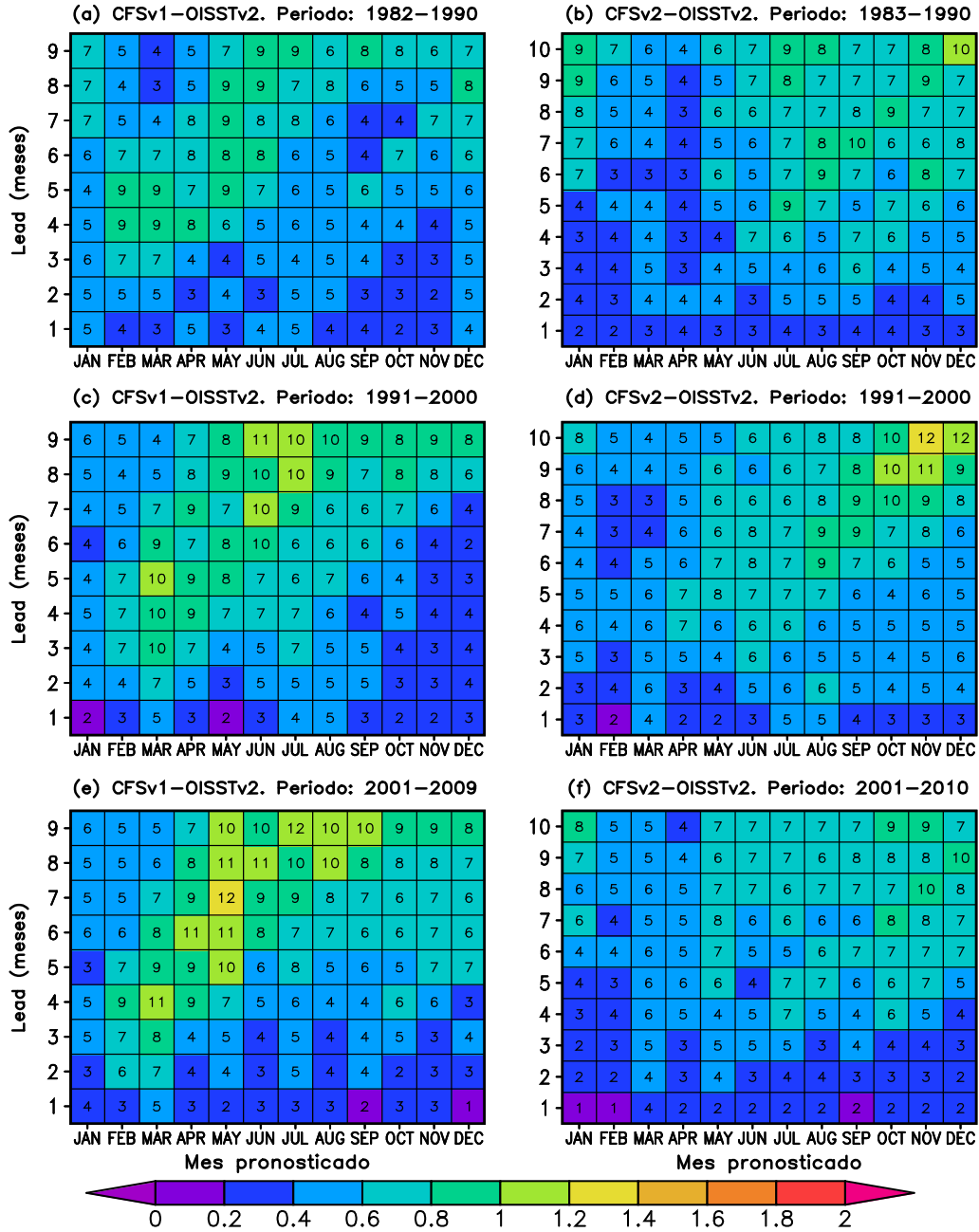


Figura 5.52: ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 3, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.

ERCM de las ATSM (Pronostico-Observado). Region Nino 3.4

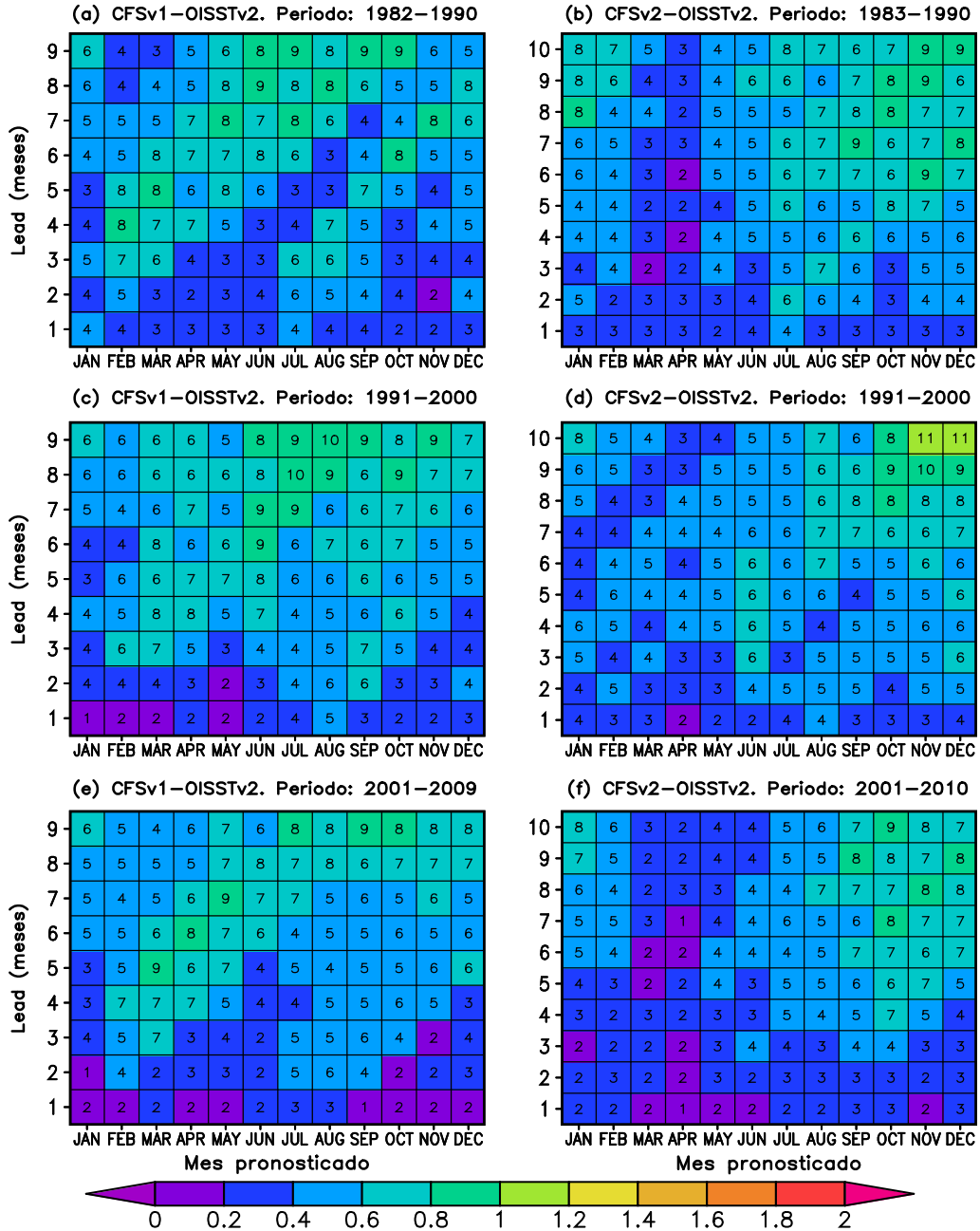


Figura 5.53: ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 3.4, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.

ERCM de las ATSM (Pronostico-Observado). Region Nino 4

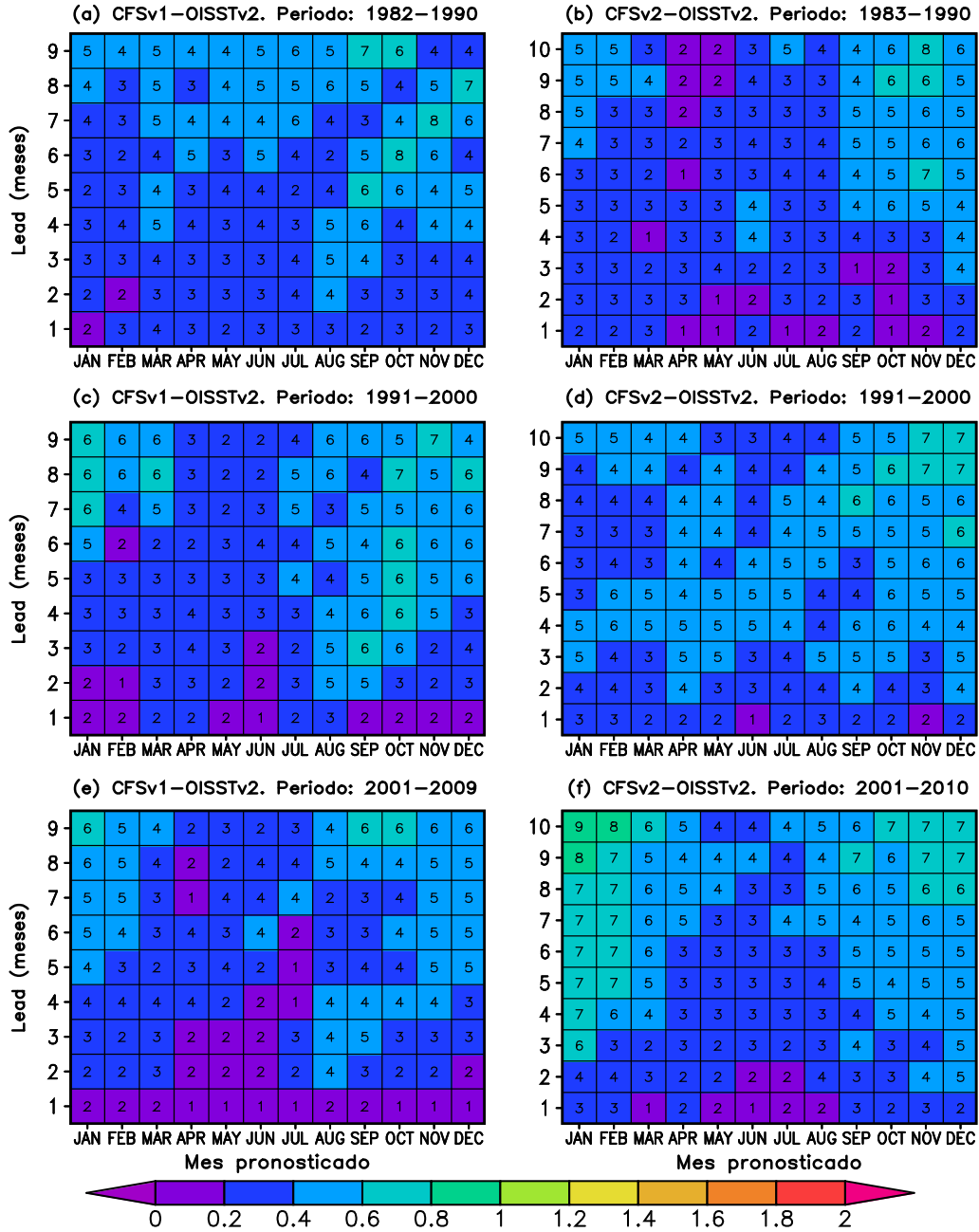


Figura 5.54: ERCM de las anomalías de TSM para la región Niño 4, a) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-OISSTv1 para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.

5.6. Análisis de series de tiempo con datos de pronóstico de CFS y datos observados de ANMM en la regiones Niño 1+2 y Niño 3.4

En las Figuras 5.55-5.63 y 5.64-5.73 se observa las series de tiempo de las Anomalías de del Nivem Medio del Mar (ANMM) en la región Niño 1+2 para el modelo CFSv1 (serie roja) y para el periodo 1982-2006 y CFSv2 (serie azul) para el periodo 1983-2010 acompañadas de la series de los datos de las ANMM observados de GODAS (serie negra), también se incluye la serie de la diferencia entre los datos de pronóstico y observado (serie celeste) para cada versión. En las Figuras 5.55-5.63, la serie celeste muestra que para los eventos Niños de los años 1982-1983 y 1997-1998 las diferencias son mayores al final de los eventos en los 3 primeros leads. En el primer evento el modelo subestima las anomalías para los primeros meses del año 1983, en el segundo evento extraordinario el lead 4 subestimo el evento para los meses entre julio y octubre de 1997; en los leads siguientes éstas diferencias son mayores. En los eventos Niños moderados del año 1987, los pronósticos muestran sobrestimación del evento después del lead 2, mientras que en el evento del año 1992 se observa subestimación después del lead 2. En cuanto a los eventos Niña, como en el caso de los eventos de 1985, 1988 y 1996, el modelo hace el pronóstico de anomalías negativas pero en menor magnitud comparada a las observadas después del lead 3 (Figura 5.57), para el evento 1999-2000 se observa que el modelo sobrestima las condiciones observadas. Es importante mencionar que después del año 2000 los pronósticos sobrestiman las condiciones observadas.

En el modelo CFSv2, las ANMM pronosticadas resultan ser menores a los datos observados para los 2 niños extraordinarios (Figuras 5.64-5.73), al analizar las diferencia resultan ser mayores a la primera versión. Los eventos Niña en esta versión muestra anomalías mayores a las observadas en la versión 1 del CFS, se observa nuevamente que para de las anomalías negativas del año 1999 el modelo muestra anomalías mayores a las observadas en los inicios del evento Niña. Las anomalías después del año 2000 fueron superiores a las observadas.

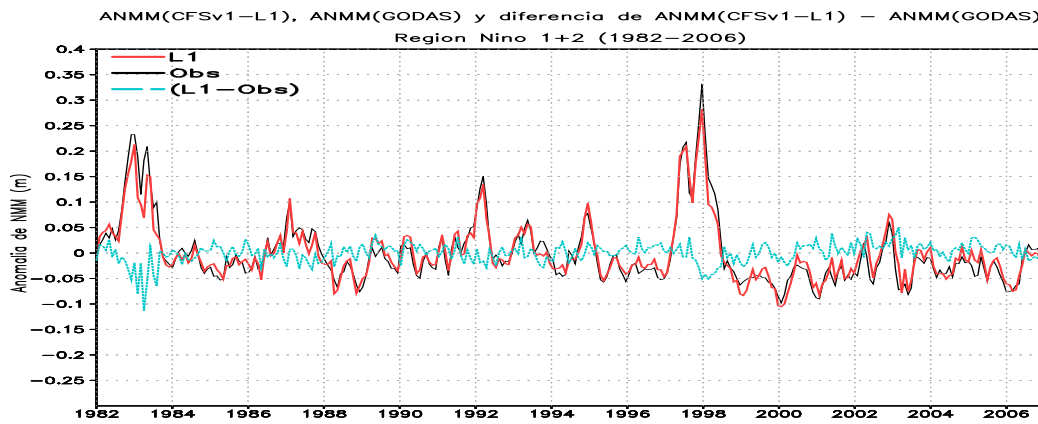


Figura 5.55: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L1 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

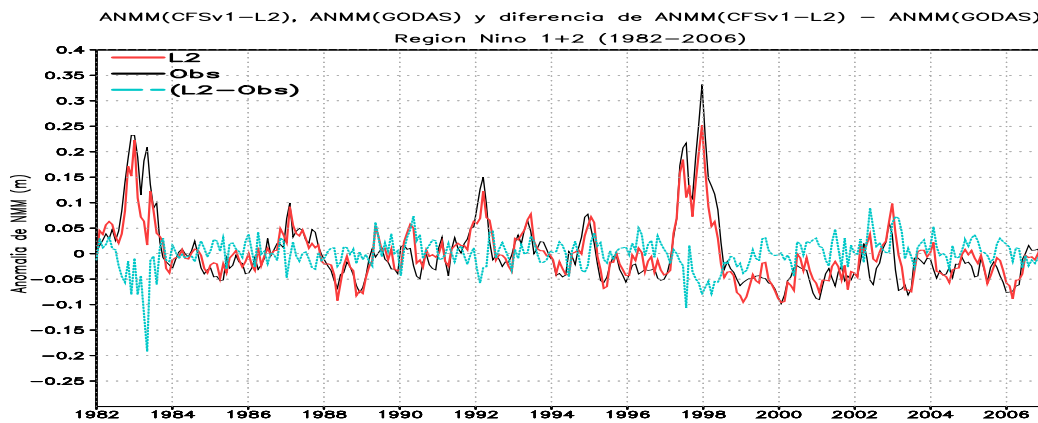


Figura 5.56: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L2 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

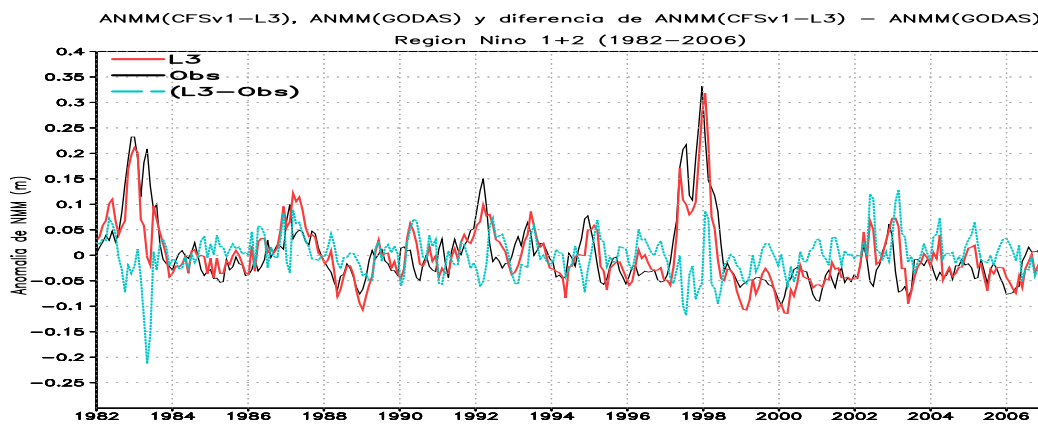


Figura 5.57: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L3 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

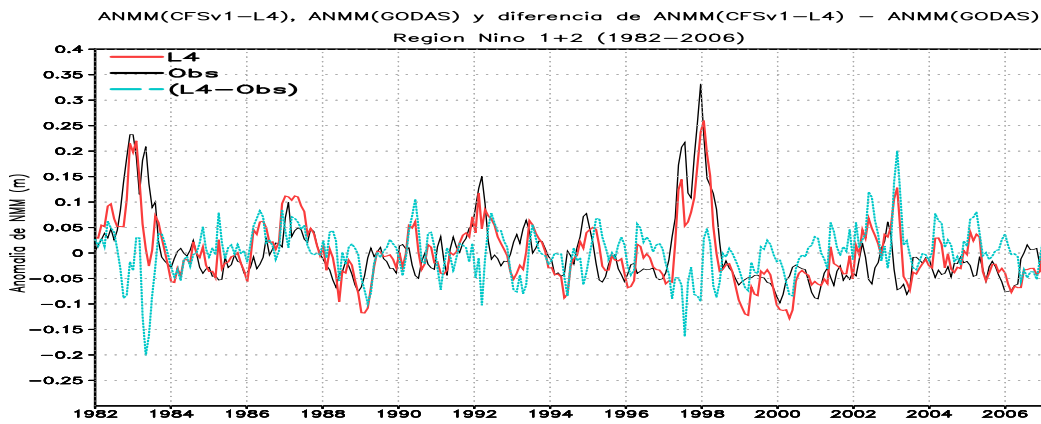


Figura 5.58: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L4 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

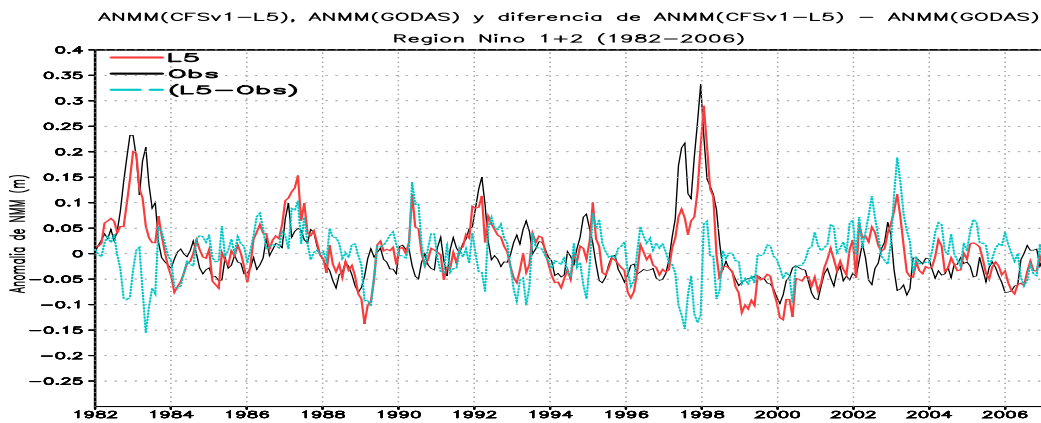


Figura 5.59: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L5 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

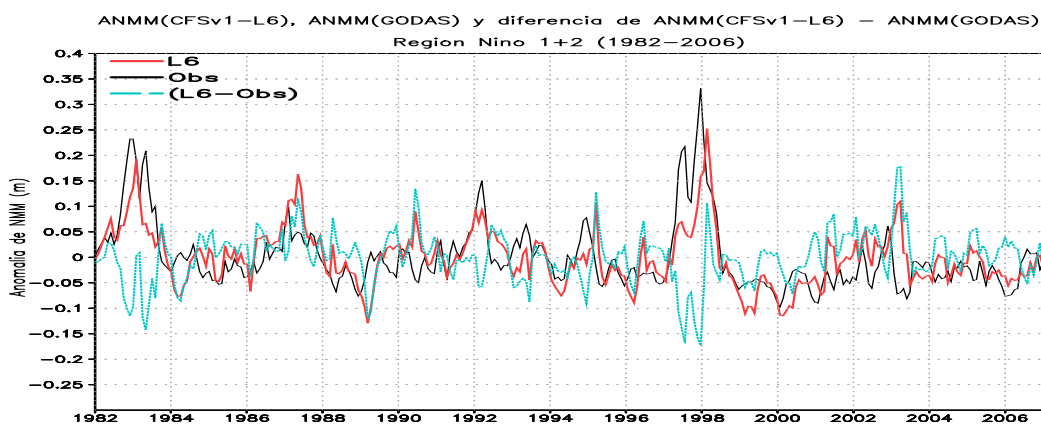


Figura 5.60: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L6 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

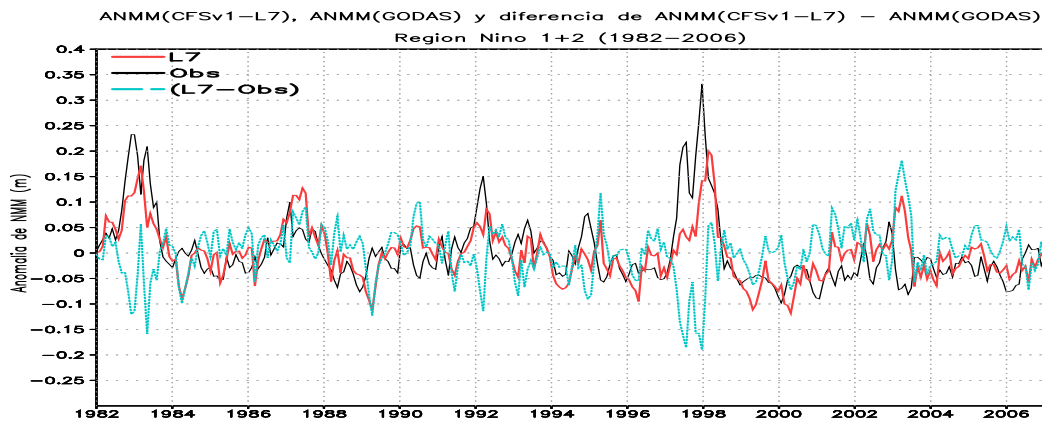


Figura 5.61: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L7 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

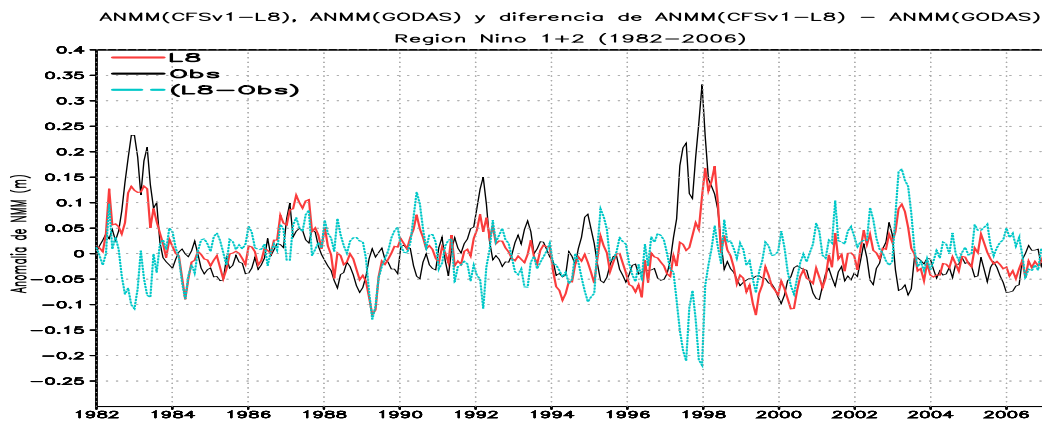


Figura 5.62: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L8 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

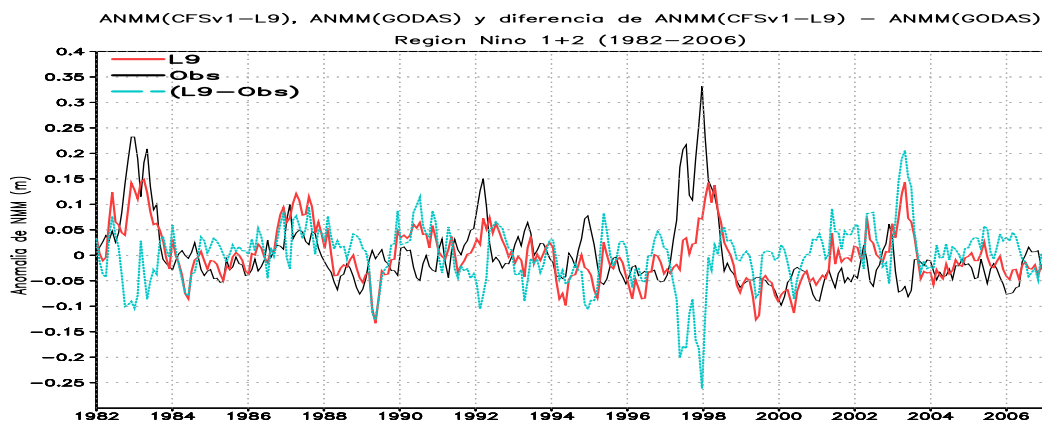


Figura 5.63: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L9 y observada. Región Niño 1+2 (1982-2009)

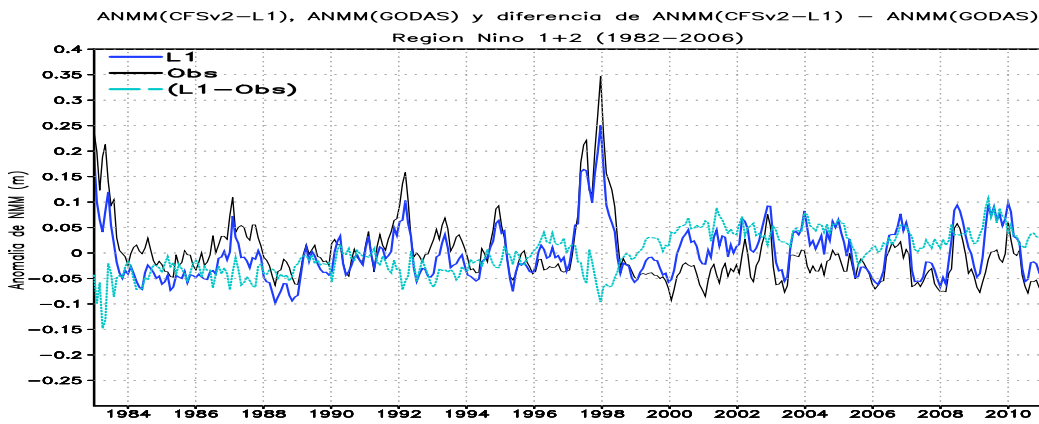


Figura 5.64: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L1 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L1 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

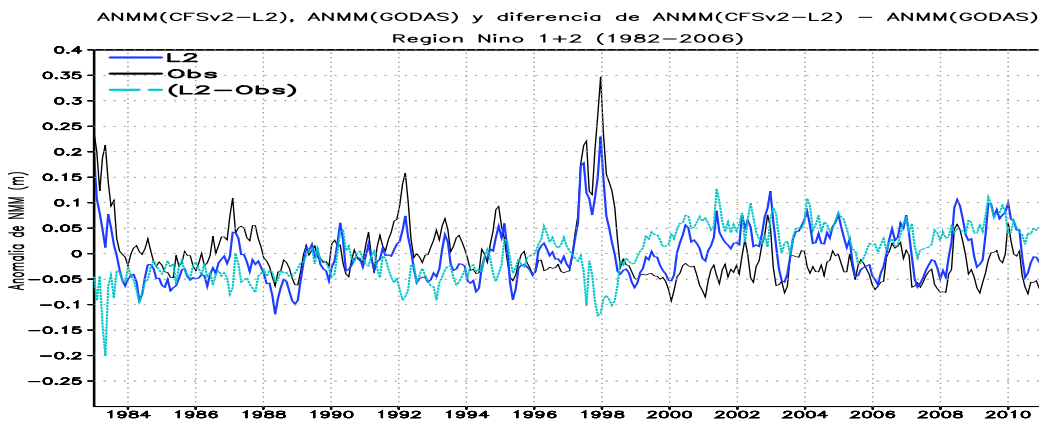


Figura 5.65: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L2 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L2 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

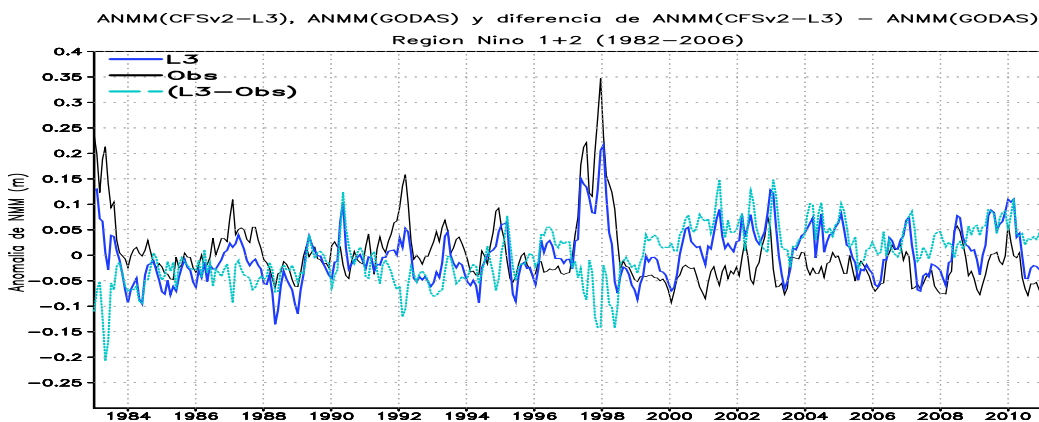


Figura 5.66: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L3 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L3 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

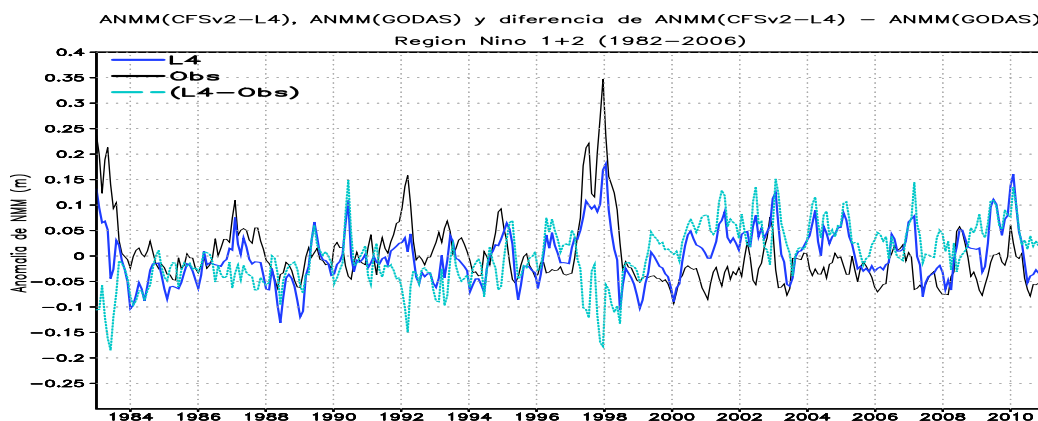


Figura 5.67: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L4 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L4 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

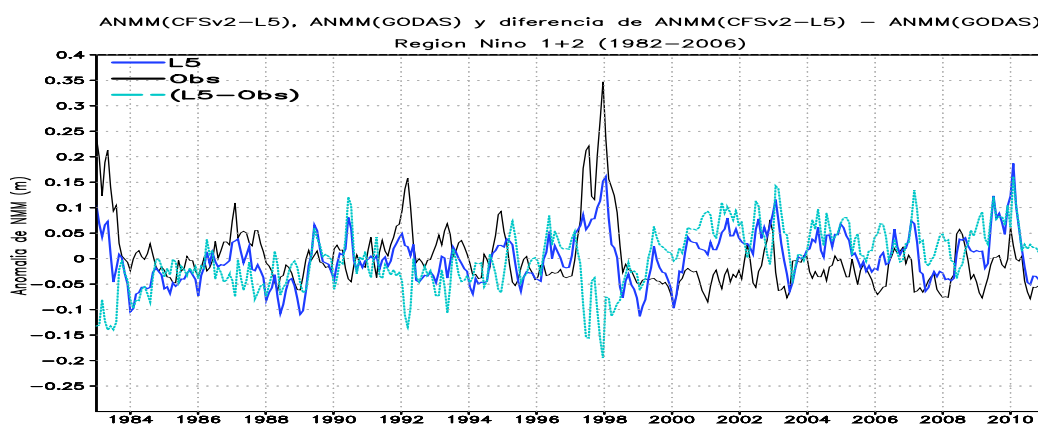


Figura 5.68: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L5 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L5 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

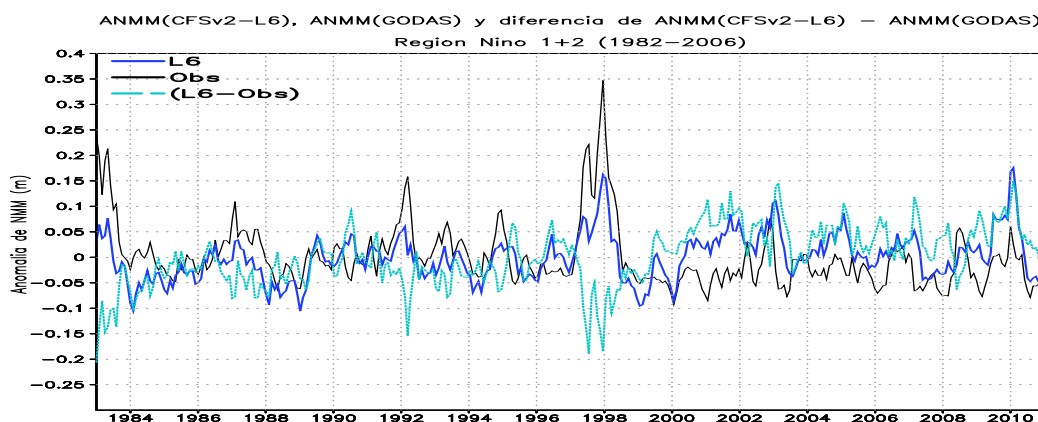


Figura 5.69: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L6 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L6 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

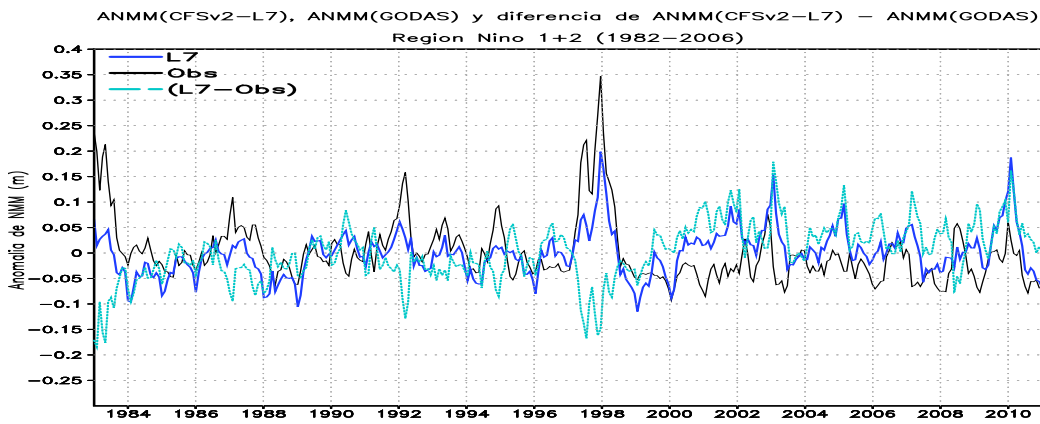


Figura 5.70: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L7 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L7 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

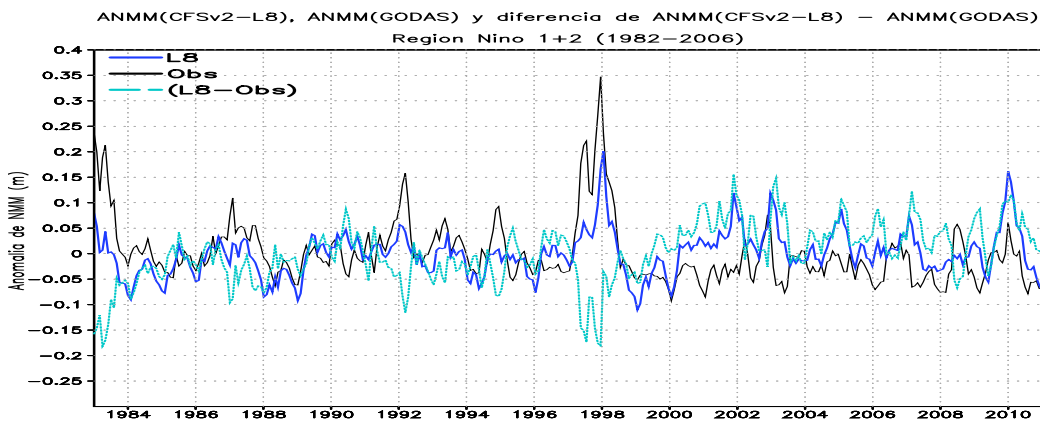


Figura 5.71: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L8 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L8 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

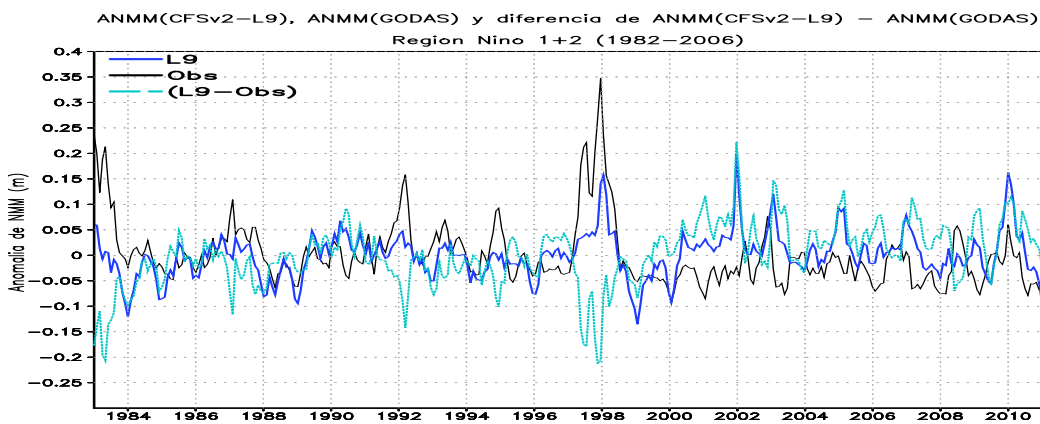


Figura 5.72: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L9 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L9 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

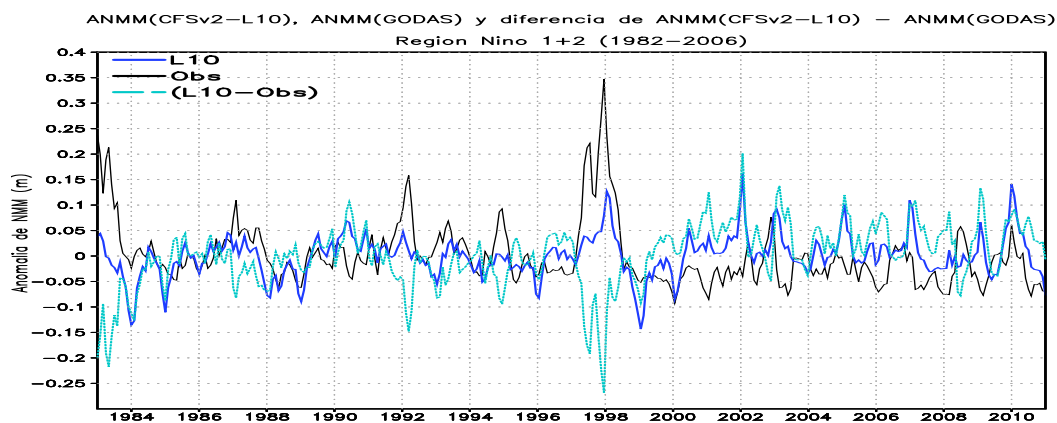


Figura 5.73: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L10 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L10 y observada. Región Niño 1+2 (1983-2010)

En las Figuras 5.74-5.82 y 5.83-5.92 se observa las series de tiempo de las ANMM en la región Niño 3.4 para el modelo CFSv1 (serie roja) y para el periodo 1982-2006 y CFSv2 (serie azul) para el periodo 1983-2010 acompañadas de la series de los datos de las ANMM observados de GODAS (serie negra), también se incluye la serie de la diferencia entre los datos de pronóstico y observado (serie celeste) para cada versión.

Para los pronóstico de los meses de finales de 1982 e inicios de 1983 el modelo CFSv1 sobrestima las condiciones observadas en los leads 2 y 3 (Figuras 5.74 y 5.75), las diferencias se incrementan en los siguientes leads para el final del evento, por otro lado a inicios del año 1997 los pronósticos subestiman las condiciones observadas, las diferencias son mayores al incrementar los leads. En el evento Niño de 1987 el modelo sobrestima las condiciones observadas caso contrario sucedió para el evento de 1992. Para los eventos Niña 1983, 1988 y 1999 la diferencia del modelo y los datos observados es pequeña, en los leads siguientes el modelo subestima las condiciones frías.

En las Figuras 5.83-5.92, la diferencia de los datos pronosticados y observados, muestra que para los eventos Niño extraordinarios 1983, 1997-1998 y para los eventos Niño 1987, 1992 y 2002-2003 el modelo subestima las condiciones observadas, al observar las diferencias estas se incrementan de forma negativa al aumentar el número de leads. Los eventos Niña o los eventos fríos de los años 1983, 1988 y 1999 los pronósticos también subestiman las condiciones frías observadas.

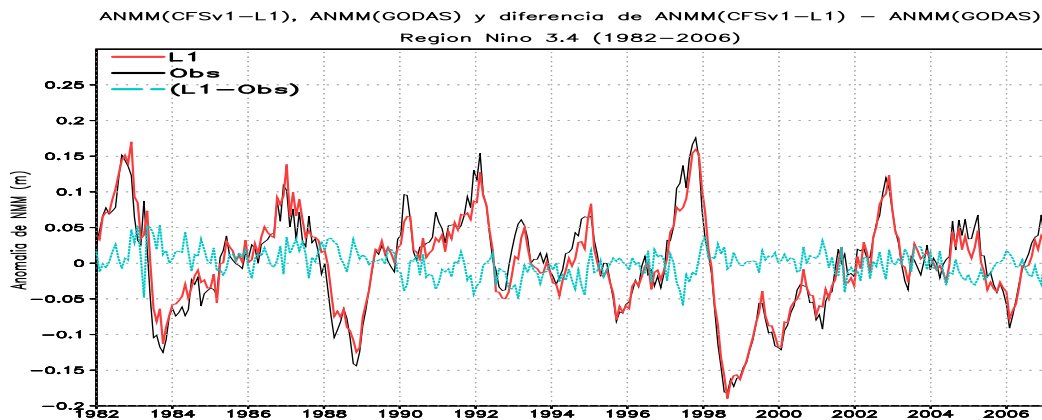


Figura 5.74: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L1 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)

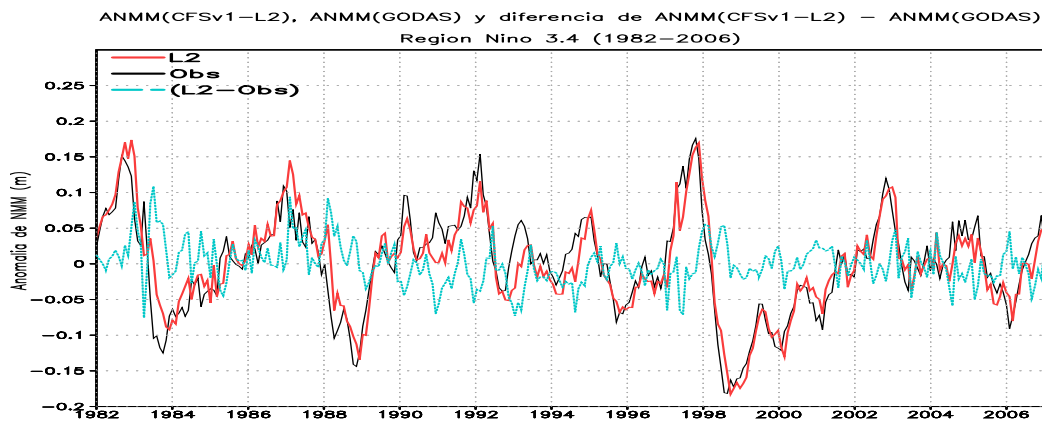


Figura 5.75: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L2 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)

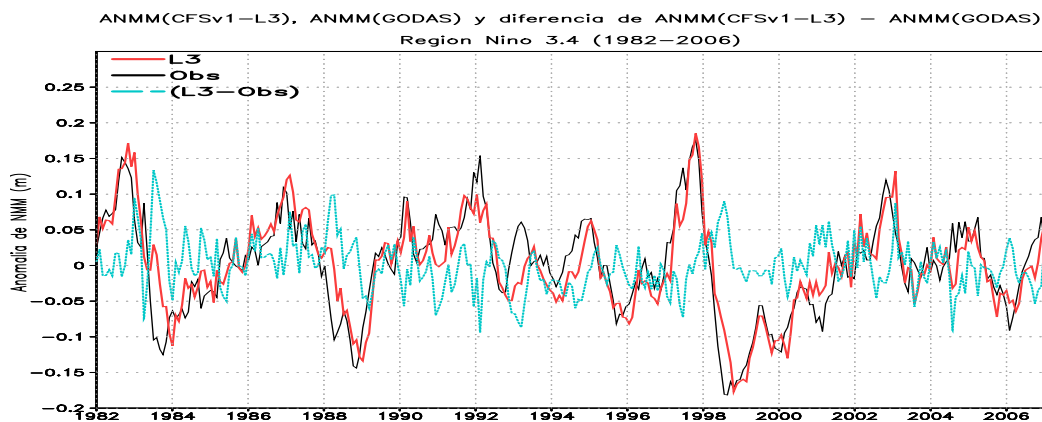


Figura 5.76: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L3 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)

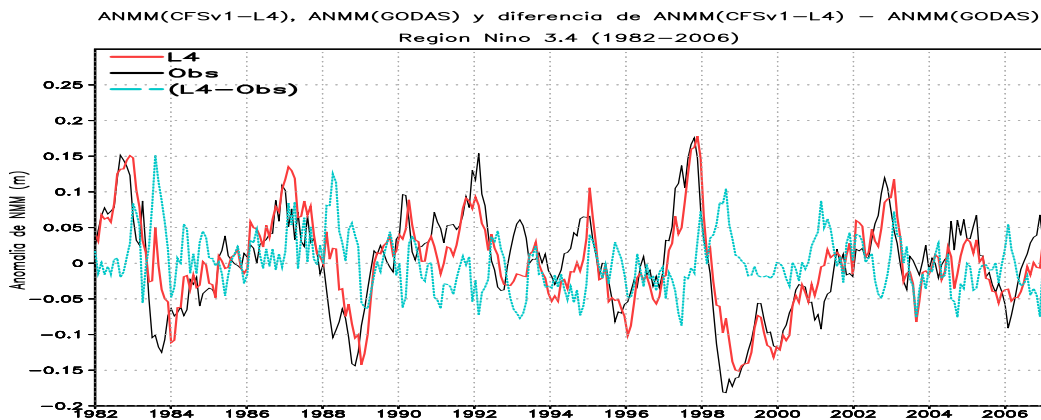


Figura 5.77: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L4 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)

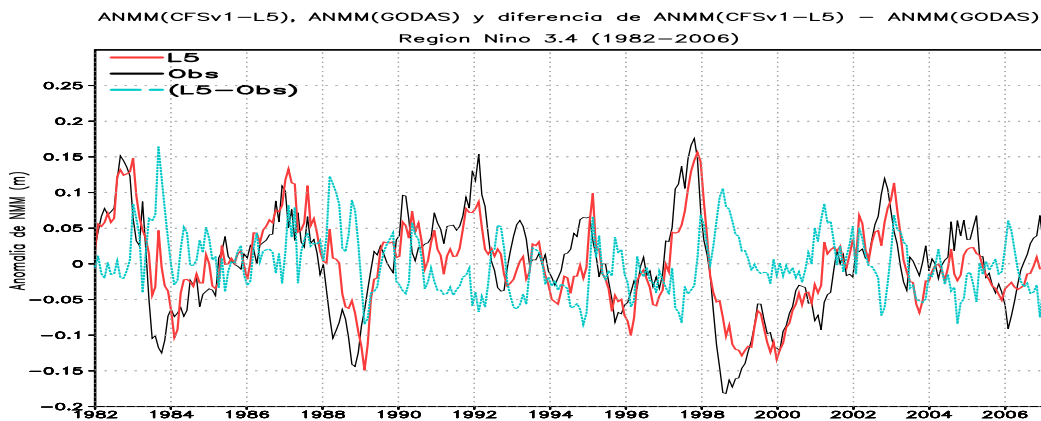


Figura 5.78: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L5 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)

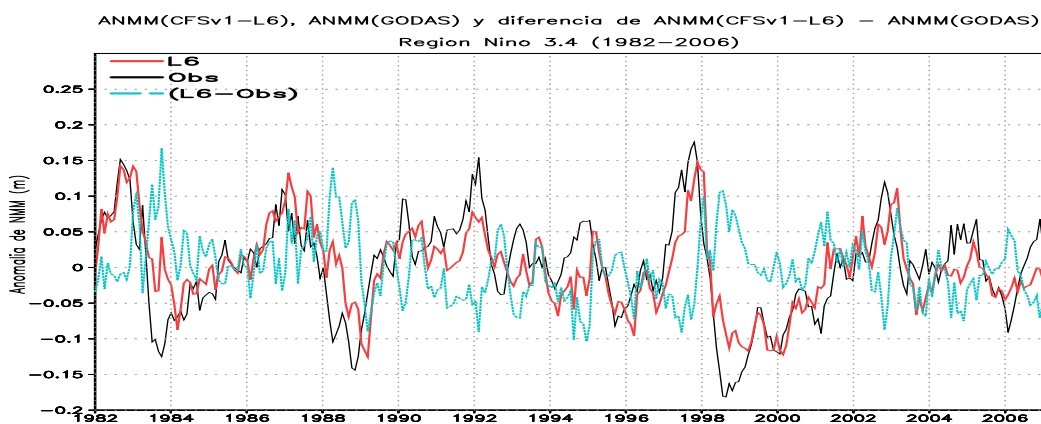


Figura 5.79: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste es la diferencia de la ANMM de L6 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)

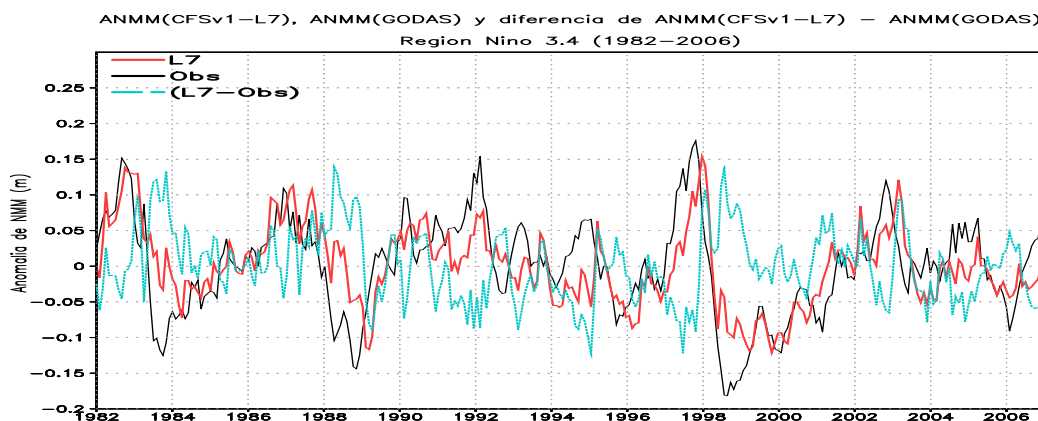


Figura 5.80: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L7 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)

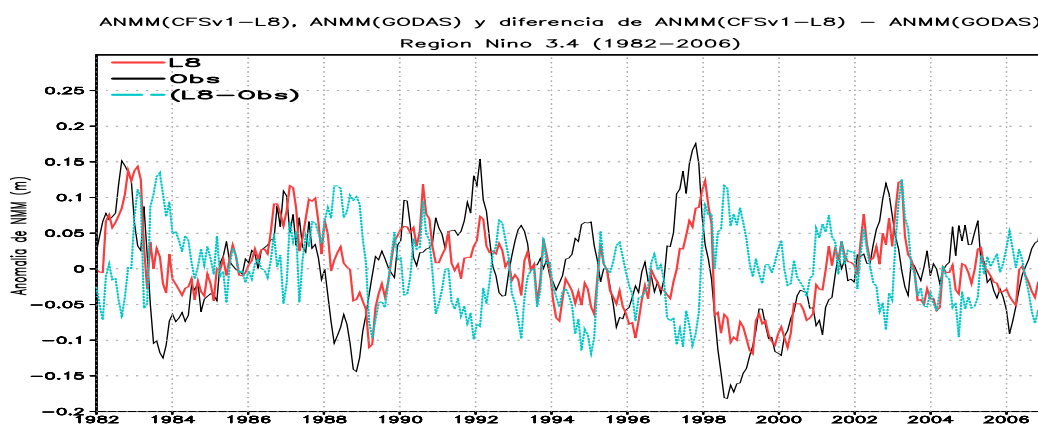


Figura 5.81: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L8 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)

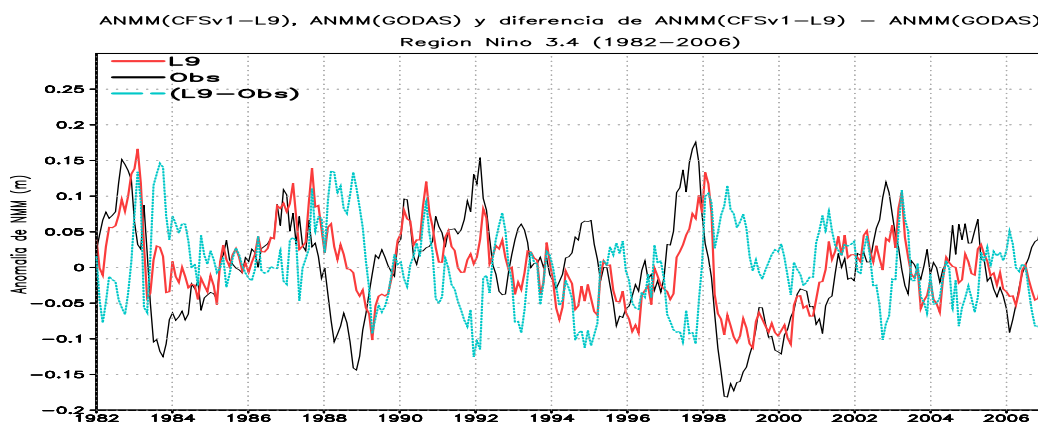


Figura 5.82: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de la ANMM de L9 y observada. Región Niño 3.4 (1982-2006)

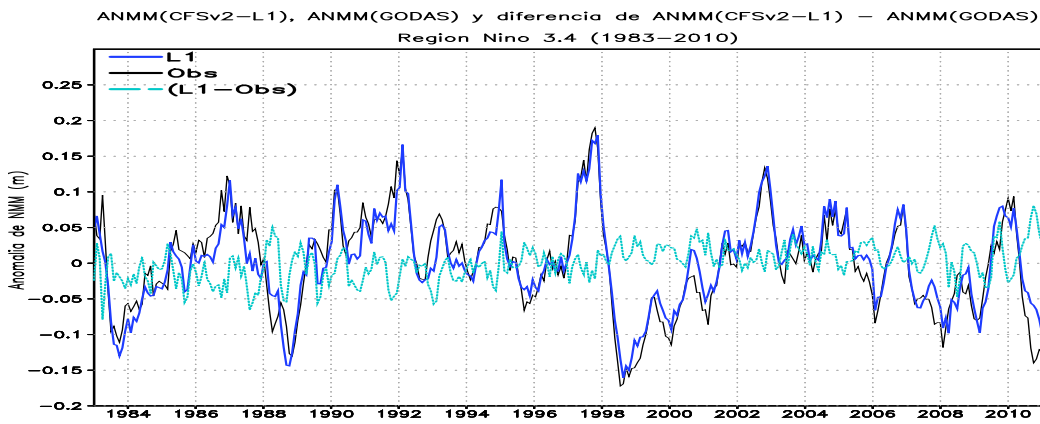


Figura 5.83: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L1 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L1 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

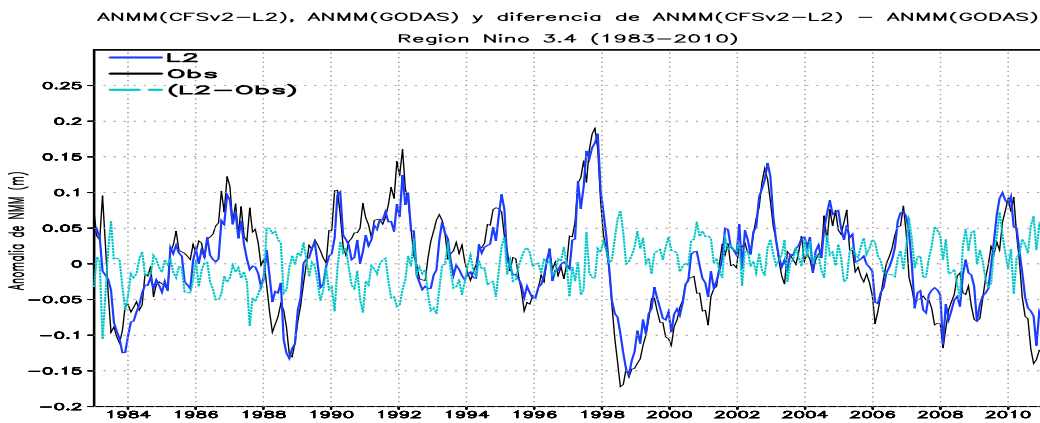


Figura 5.84: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L2 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L2 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

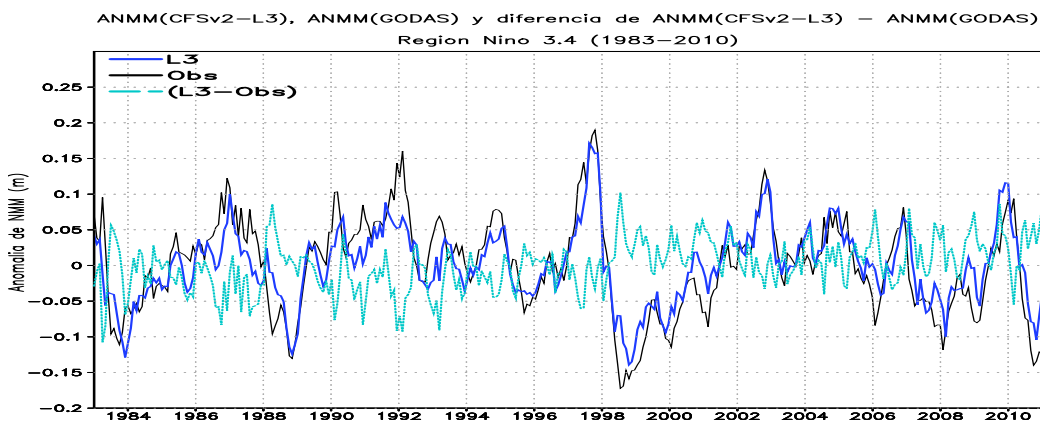


Figura 5.85: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L3 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L3 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

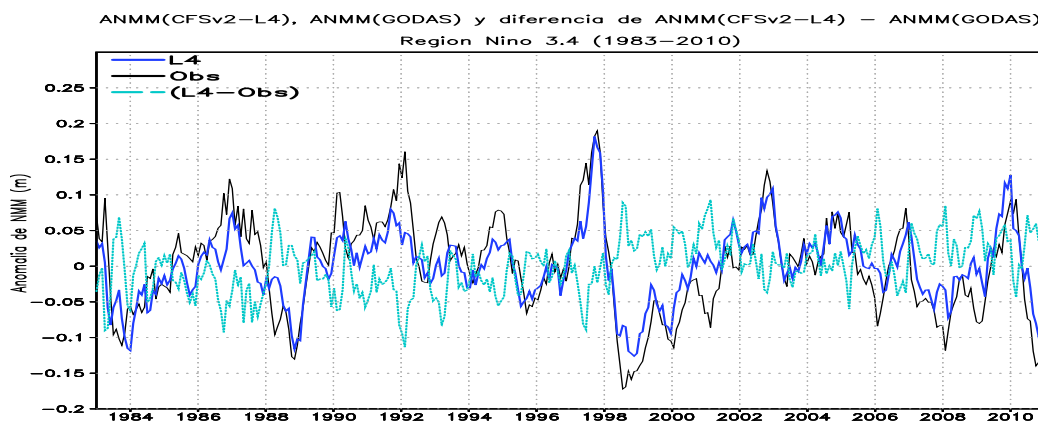


Figura 5.86: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L4 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L4 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

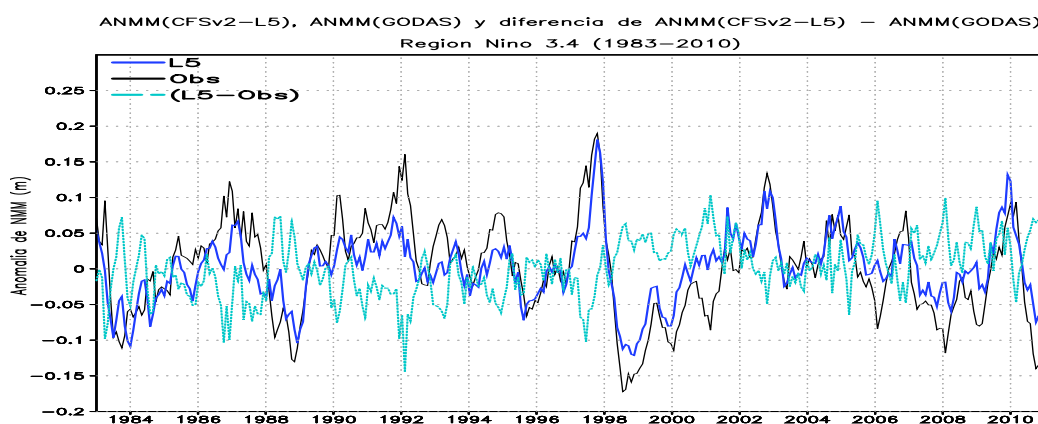


Figura 5.87: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L5 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L5 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

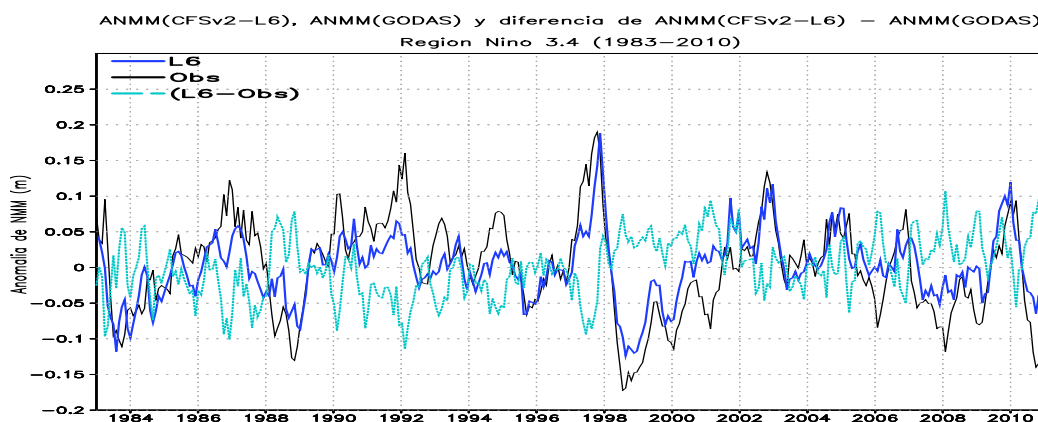


Figura 5.88: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L6 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L6 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

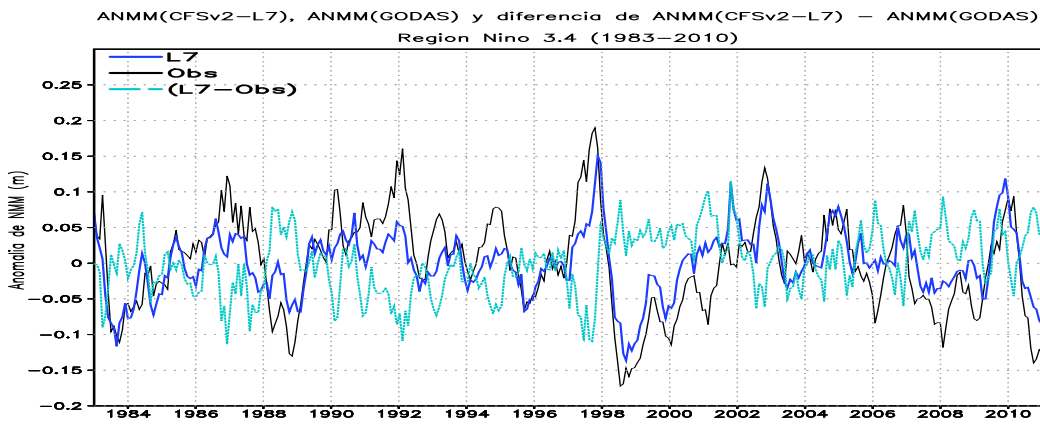


Figura 5.89: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L7 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L7 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

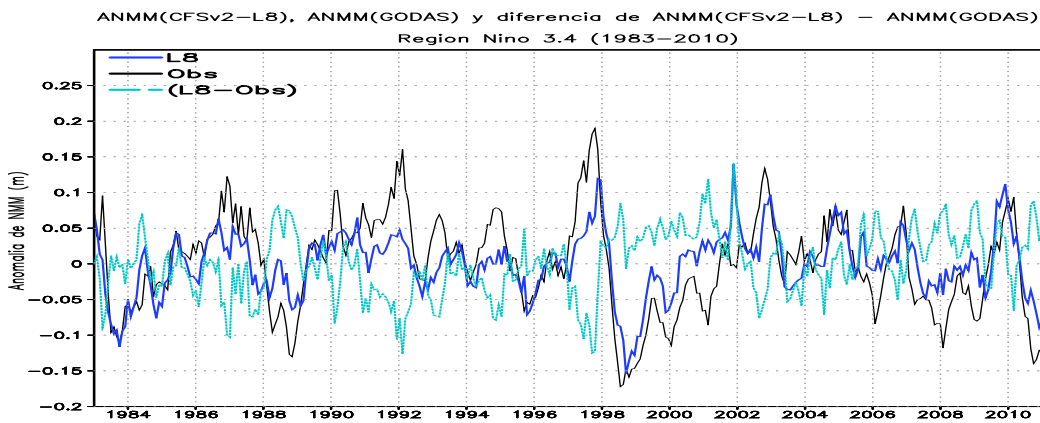


Figura 5.90: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L8 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L8 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

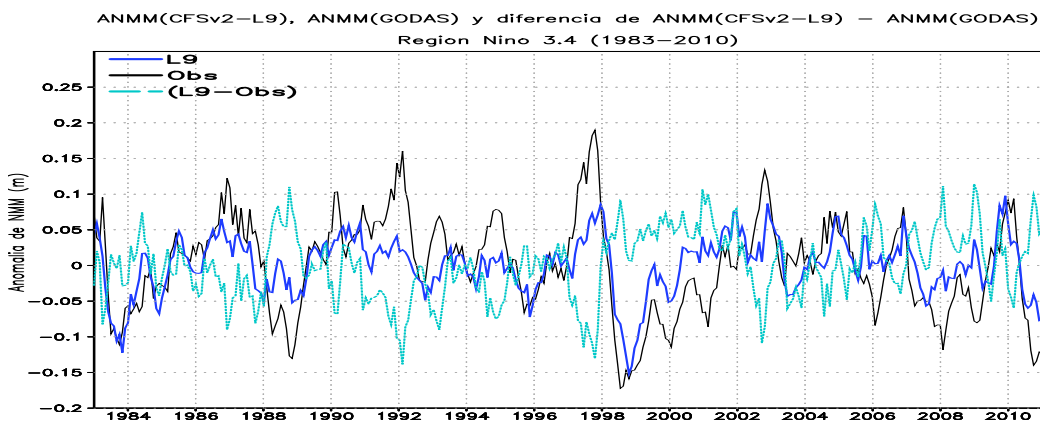


Figura 5.91: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L9 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L9 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

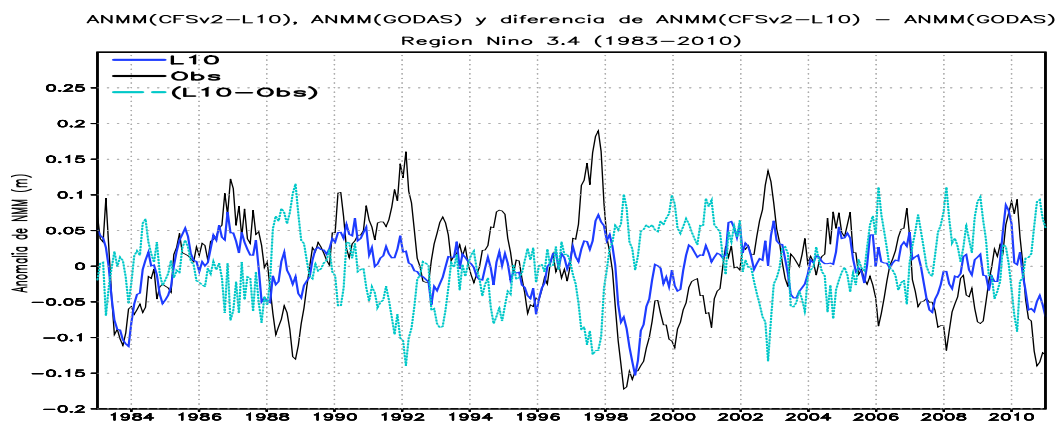


Figura 5.92: Series de tiempo de las ANMM observada (negra) y de CFSv1 para L10 (azul), en celeste la diferencia de la ANMM de L10 y observada. Región Niño 3.4 (1983-2010)

5.7. Coeficientes de Correlación (CC) del ANMM de CFS y ANMM de GODAS

En la Figura 5.93, se muestra el CC de las anomalías de NMM pronosticadas y datos observados de GODAS para la región Niño 1+2, la Figura 5.93a se ve la correlación de CFSv1 y datos observados para el periodo 1982-2006, las correlación más altas se dan entre los meses de agosto y febrero con CC mayores a 0.7 para los primeros cuatro leads, los leads siguientes tienen un CC entre 0.6 y 0.7 hasta el lead 8 entre los meses de setiembre y febrero; para los meses de diciembre y enero, las máximas correlaciones es mayor a 0.79; para los meses entre marzo y julio se observa correlaciones altas en los tres primeros leads, excepto el mes de mayo que se observa una disminución progresiva desde el lead 2 con un valor de 0.68. En la Figura 5.93b se observa el CC de CFSv1 y GODAS para el periodo 1984-2006 sin tomar en cuenta los años 1997-1998, se observa que la correlación disminuye comparándola con la Figura 5.93a, se observa buenas correlaciones hasta el lead 7 entre los meses de setiembre y enero; las máximas correlaciones son para los meses de noviembre y enero hasta el lead 6, las mismas que disminuyen al incrementar los leads; los meses de mayo y junio muestran las menores correlaciones a partir del lead 5, con CC menores a 0.33. La Figura 5.93c muestra el CC de las ANMM para CFSv2 y GODAS para el periodo 1983-2010, en el cual se observa CC mayores a 0.5 hasta el lead 4 entre los meses agosto y enero, los CC mayores a 0.6 se observan hasta en lead 7 para los meses noviembre y diciembre, si comparamos estos resultados con la Figura 5.93a se observa que los CC altos coinciden en los meses pero en menor valor. Los resultados del CC para el periodo 1984-2010 del modelo CFSv2 y los datos de GODAS sin tomar en cuenta los años 1997-1998 se muestra en la Figura 5.93d, en el cual, el CC es menor a los observados en las Figuras 5.93c y 5.93b, además los CC mayores se siguen observando al igual que en los resultados anteriores pero en menor valor.

En la Figura 5.94 se observa los resultados de CC para la región Niño 3.4; la Figura (5.94a) es el resultado para el periodo 1982-2006 del modelo CFSv1 y GODAS para las ANMM, se observa que la correlación es mayor a 0.65 en todos los meses mostrándose hasta el lead 5, después del lead 5 los meses entre setiembre y marzo continúan mostrando correlaciones altas. En la Figura 5.94b, el CC con los mismos datos de la figura anterior, para el periodo 1984-2006 sin

considerar los años 1997-1998, se observa que las correlaciones son menores a las de la figura previa, los CC son bajos desde el lead 1 para los meses entre junio y agosto; los CC mayores a 0.6 se observan entre los meses de setiembre y enero hasta el lead 7. La Figura 5.94c nos muestra las correlaciones del modelo CFSv2 con los datos de GODAS para el periodo 1983-2010, los resultados muestran correlaciones mayores a 0.7 entre los meses de junio a abril hasta el lead 7, en forma general se observa que el mínimo valor es 0.59 en el lead 10 para el mes de enero. La Figura 5.94d, muestra el CC con la misma fuente de datos de la figura anterior para el periodo 1984-2010 sin considerar los años 1997-1998, se observa correlaciones bajas desde el lead 1 para los meses entre mayo y setiembre con un valor mínimo de 0.19, las correlaciones entre los meses de octubre y abril hasta el lead 4 muestran como valor mínimo 0.44, el valor máximo de correlación es de 0.83 se observa en el lead 1 para los meses de diciembre y enero.

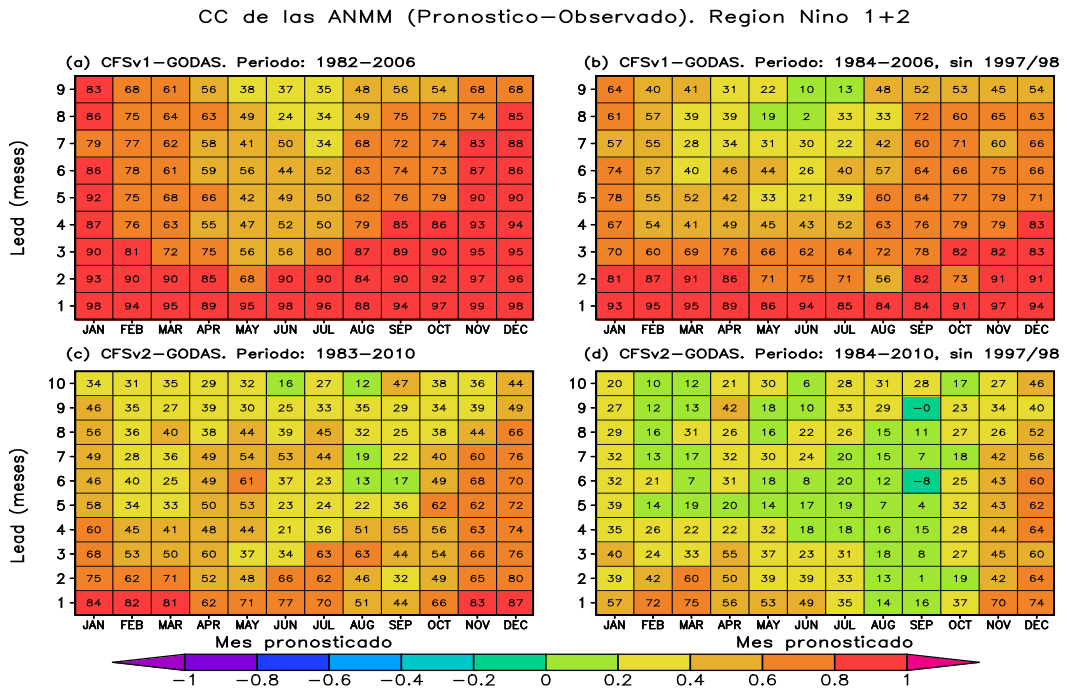


Figura 5.93: CC de las anomalías de NMM para la región Niño 1+2, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

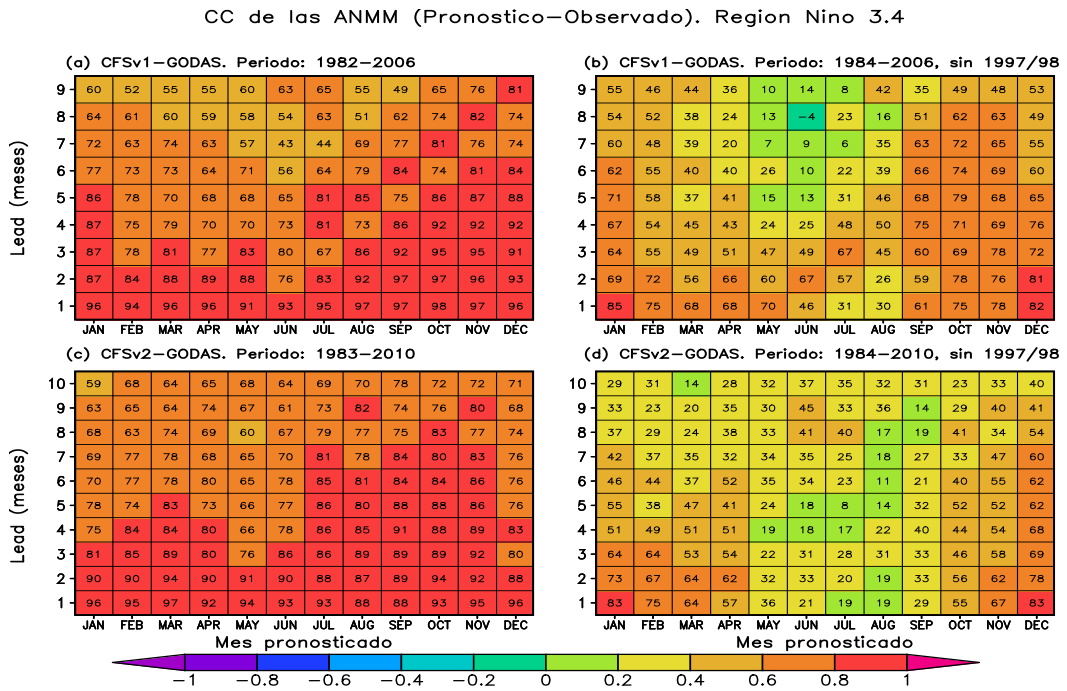


Figura 5.94: CC de las anomalías de NMM para la región Niño 3.4, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2009; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 198-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

5.8. Error de Raíz Cuadrada Media (ERCM) de ANMM pronosticado (CFS) y observado (GODAS)

La Figura 5.95 muestra los resultados de ERCM para la región Niño 1+2, los resultados son multiplicados por el factor 100, en la Figura 5.95a se observa el ERCM del modelo CFSv1 y GODAS para el periodo 1982-2006, donde los menores errores se dan en los meses de agosto y setiembre hasta el lead 7 con el valor de 0.03 m, el mismo error es entre octubre y diciembre hasta el lead 3; el mes de mayo muestra el error máximo desde el lead 2 con un valor de 0.052 m, también se observa variabilidad después del lead 4 entre los meses enero y julio. Para la Figura 5.95b con los datos de CFSv1 y GODAS, para el periodo 1984-2006 sin tomar los años 1997-1998 los índices son menores a 0.03m entre agosto y diciembre en los cinco primeros leads, los máximos errores inician en el lead 4 con índices mayores a 0.05m para los meses entre febrero y junio. La Figura 5.95c los datos para CFSv2 y GODAS para el periodo 1983-2010 muestra errores mayores comparados con la Figura 5.95a, se mantienen los índices menores de error entre los meses de agosto y setiembre, los máximos errores se observan desde el lead 5 y 6 para los meses de diciembre y enero respectivamente. La Figura 5.95d son los mismos datos de la figura anterior, sin tomar en cuenta los años 1983,1997 y 1998, al igual que la figura anterior se observa un incremento en el ERCM, los meses entre agosto y diciembre muestran los mejores resultados hasta el lead 7, los máximos errores se observan en los meses de enero y febrero después del lead 3, los errores del CFSv2 son mayores comparados con la versión 1 del CFS.

La Figura 5.96 muestra el resultado de ERMS para la región Niño 3.4, la Figura 5.96a es el resultado del modelo CFSv1 y los datos de GODAS para el periodo 1982-2006, se observa valores de error entre 0.016 y 0.049 m en los primeros tres leads, los resultados de esta figura son menores comparados con los de la Figura 5.96b que es el resultado de la misma fuente de datos de la figura anterior, para el periodo 1984-2006 sin tomar los años 1997-1998, donde se observa un incremento en los errores, siendo más notable los meses entre enero y marzo con ERCM mayor a 0.049m a partir del lead 2. La Figura 5.96c es el error del modelo CFSv2 y los datos de GODAS para el periodo 1983-2010 donde los

resultados son similares a los de la Figura 5.96a, los mayores errores se observa en los meses de diciembre y enero desde el lead 6 y 5 correspondientemente. En la Figura 5.96d se muestra ERCM de la misma fuente de datos previo, para el periodo 1984-2010 sin tomar los años 1997-1998, como hemos venido viendo en este periodo los errores se incrementan, el mes que nos muestra el error más alto es el de setiembre en los tres primeros leads.

ERCM de las ANMM (Pronostico-Observado). Region Nino 1+2

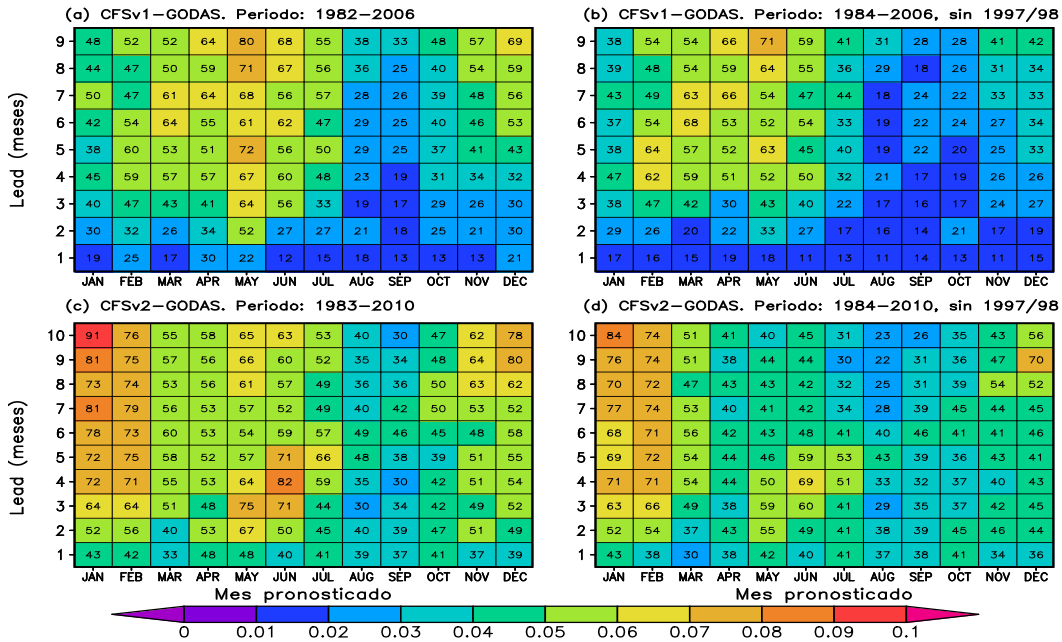


Figura 5.95: ERCM de la anomalías de NMM para la región Niño 1+2, a) CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

ERCM de las ANMM (Pronostico-Observado). Region Nino 3.4

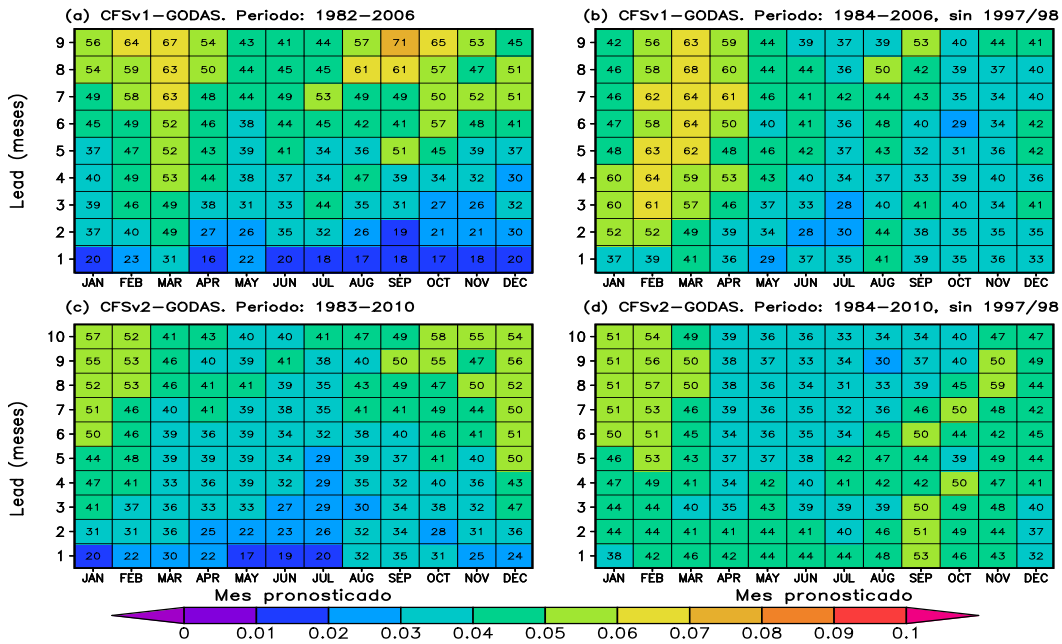


Figura 5.96: ERCM de la anomalías de NMM para la región Niño 3.4, a) CFSv1-GODAS, periodo 1982-2009; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2009 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 198-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

5.9. Coeficientes de correlación entre ANMM pronosticada (CFS) y observada (GODAS) por periodos.

Se analizó los resultados de las correlaciones de las 2 versiones del modelo CFS con los datos observados de GODAS para periodos entre 6 y 10 años. En la región Niño 1+2 (Figura 5.97a) corresponde al modelo CFSv1 y GODAS para el periodo 1982-1990 donde se muestra correlaciones altas entre los meses de setiembre y marzo en los 9 leads, excepto el mes de octubre que tiene una ligera disminución en el lead 6 con el CC de 0.66; los meses de abril y junio a partir del lead 3 muestran correlaciones bajas, mientras que en el lead 2 en el mes de mayo muestra correlación baja igual a 0.38. La correlación en la Figura 5.97c pertenece al modelo CFSv1 y para GODAS para el periodo 1991-200 muestra alta correlación entre los meses setiembre y marzo en todos los lead mayores a 0.71, excepto los leads finales de los meses de setiembre y octubre que tiene una pequeña disminución igual a 0.49 y 0.66 en el lead 9; los meses entre abril y agosto muestra correlaciones altas en los 3 primeros leads, los CC disminuyen al aumentar los leads. La Figura 5.97e es el resultado del CC para el modelo CFSv1 y GODAS para el periodo 2001-2006, en el cual se observa correlaciones negativas desde el lead 1 entre los meses de mayo y enero, el máximo CC es 0.62 para el mes de marzo en el lead 7. Los meses entre febrero y abril, además el mes de junio muestran correlaciones positivas en todos sus meses pronosticados. La Figura 5.97b es el resultado del CC de los datos de CFSv2 y GODAS para el periodo 1983-1990 se muestra correlación altas entre los meses de enero y abril para los 7 primeros leads, los meses entre mayo y octubre muestran correlación menores a 0.7 desde sus primer y segundo lead, las mismas que disminuyen al incrementar los leads; en el lead 4 para el mes de junio se observa resultado negativo, en los siguiente leads se observa este tipo de correlación, también para los meses entre julio y setiembre. Los resultados en la Figura 5.97d del modelo CFSv2 y de GODAS para el periodo 1991-2000 muestran correlaciones altas para los meses de enero y febrero en los diez leads, entre los meses de octubre y diciembre también se observa correlación altas hasta los leads 7 y 9 respectivamente. La Figura 5.97f del modelo CFSv2 y GODAS para el periodo 2001-2010 se observó correlaciones

negativas desde el lead 1 para los meses entre mayo y noviembre además del mes de enero, similar a la Figura 5.97e, la máxima correlación es para el mes de abril (0.51) en el lead 6, los meses de febrero, marzo y diciembre también muestran correlaciones positivas, las cuales disminuyen al incrementar el tiempo de pronóstico y se hacen negativas; diferente los resultados en el mes de mayo, el lead 1 muestra correlación negativa y los siguientes son positivos, en varios meses se observa variabilidad. El CC en la primera versión del modelo CFS muestra mejores resultados que la segunda versión en los dos primeros periodos, más aún en el primer periodo donde se observa coeficientes negativos entre los meses de junio y setiembre, una posible respuesta es que el modelo en los últimos leads mostró subestimación en sus pronósticos y en los meses mencionado los pronóstico mostraban desfase o retraso a las condiciones observadas; en el tercer periodo, el pronóstico sobrestimó los datos observados y mostró un desfase o retraso en acertar las condiciones observadas, siendo esto mayor a la de los dos periodos anteriores para los meses entre mayo y enero.

Para la región Niño 3.4 (Figura 5.98) se observa el resultado del CC para la región Niño 3.4, el CC de anomalías de NMM del modelo CFSv1 y datos de GODAS, la Figura 5.98a es el resultado del periodo 1982-1990 donde se observa los máximos CC altos para los meses de octubre y enero hasta el lead 9; las correlaciones altas mayores a 0.7 se observó hasta el lead 6 para los meses de febrero, para los meses de agosto y setiembre hasta el lead 7; las correlaciones menores se observa entre los meses de abril y junio con correlaciones bajas a partir del lead 4, y a partir del lead 5 para el mes de julio. La Figura 5.98c es el resultado del modelo CFSv1 y datos de GODAS para el periodo 1991-2000, se observa correlaciones altas con valores mayores a 0.9 en los 4 primeros leads de casi todo el año (excepto marzo y junio), las correlaciones son mayores a 0.7 hasta el lead 6, el mínimo valor es 0.55 se encuentra en el lead 9 del mes de enero, el cual es un CC menor que se repite en los meses de febrero y marzo para el mismo lead. La Figura 5.98e muestra el CC de CFSv1 y GODAS para el periodo 2001-2006, donde las altas correlaciones se observan en los primeros leads, el mes de diciembre hasta el lead 9 se encuentran correlaciones mayores a 0.7; enero, setiembre y octubre son los meses que tienen correlación alta hasta el lead 7. La Figura 5.98.b es el resultado del modelo CFSv2 y datos de GODAS, para del periodo 1983-1990, los pronósticos muestran correlaciones

mayores a 0.70 entre los meses de julio y marzo, los meses de abril y mayo tienen correlación menores 0.54 y 0.52 respectivamente en el lead 3, aunque en el lead 4 la correlación se incrementa para el mes de mayo. El periodo 1991-2000 para CFSv2-GODAS (Figura 5.98d), tiene CC bastante altas en los 2 primeros leads entre 0.89 y 0.99 para todos los meses, la correlación es alta (mayor a 0.7) hasta el lead 10 a excepción de los meses de marzo y diciembre con correlaciones de 0.68 y 0.66. El CC para el modelo CFSv2 y GODAS, Figura 5.98f para el periodo 2001-2010, se observa correlaciones altas entre los meses de agosto y febrero hasta el lead 7, los meses entre abril y junio tienen como resultado correlaciones menores a 0.7 a partir del lead 6, las correlaciones de esta figura muestran mejores resultados comparado con la Figura 5.98e del periodo 2001-2006 aunque este periodo tiene 4 años menos que la Figura 5.98f y no presenta correlaciones negativas. El CC en la segunda versión del modelo CFS, muestra mejores resultados que la primera versión en los tres periodos, los resultados del CFSv2 para el periodo 1991-2000 son los que muestran los mejores resultados, los menores coeficientes de correlación se observan en el último periodo para las dos versiones del modelo, siendo la primera versión la que muestra los mayores errores con CC negativos entre los meses de abril y junio después del 5 lead de pronóstico, la causa es que el modelo sobrestimó las condiciones observadas a inicios del año 2000, por otro lado para fines de la década el modelo subestimó las condiciones observadas, y en los últimos lead el evento muestra un retraso en pronosticar las condiciones Niño de los años 2002-2003.

CC de las ANMM (Pronostico-Observado). Region Nino 1+2

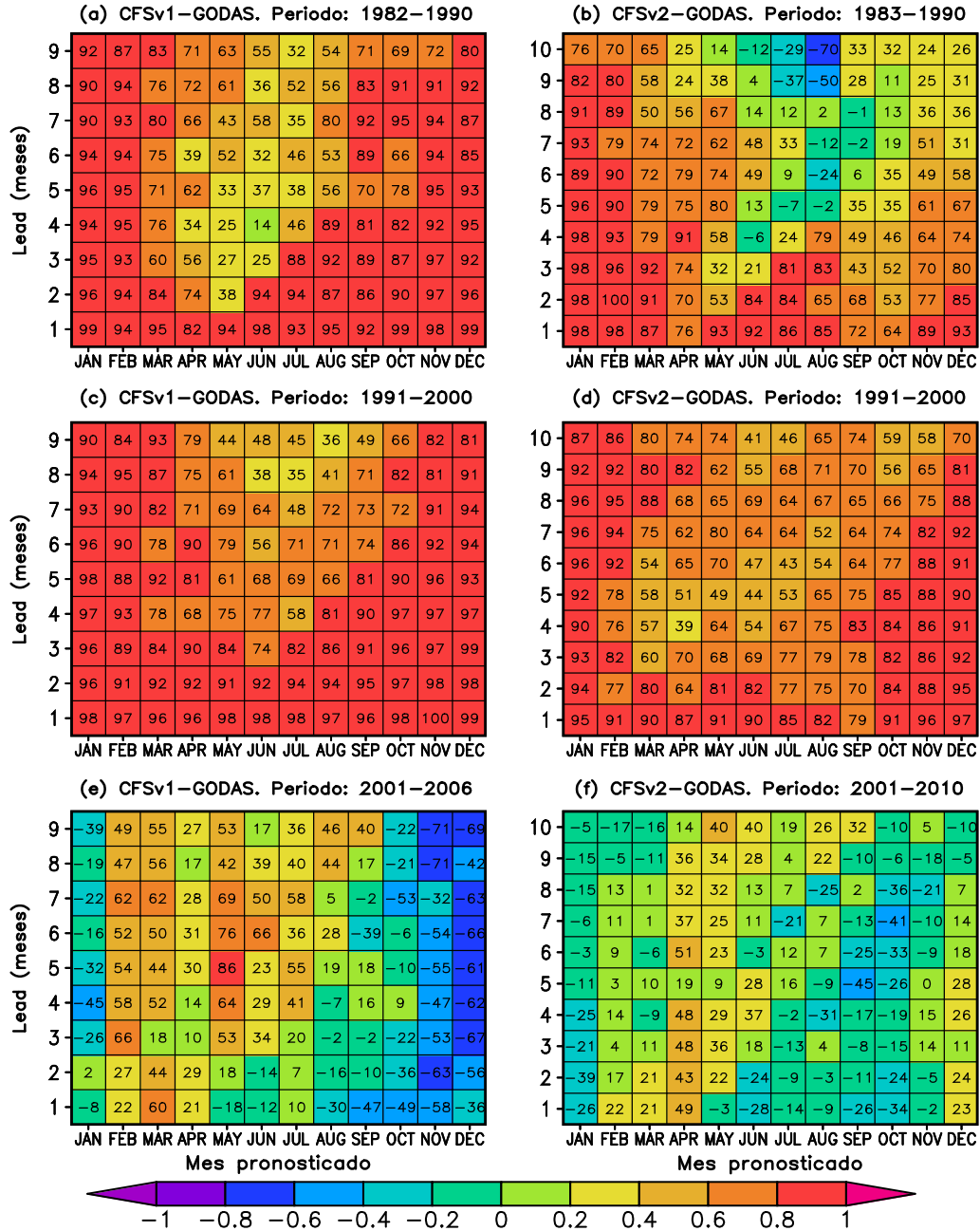


Figura 5.97: CC de las anomalías de NMM para la región Niño 1+2, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.

CC de las ANMM (Pronostico–Observado). Region Nino 3.4

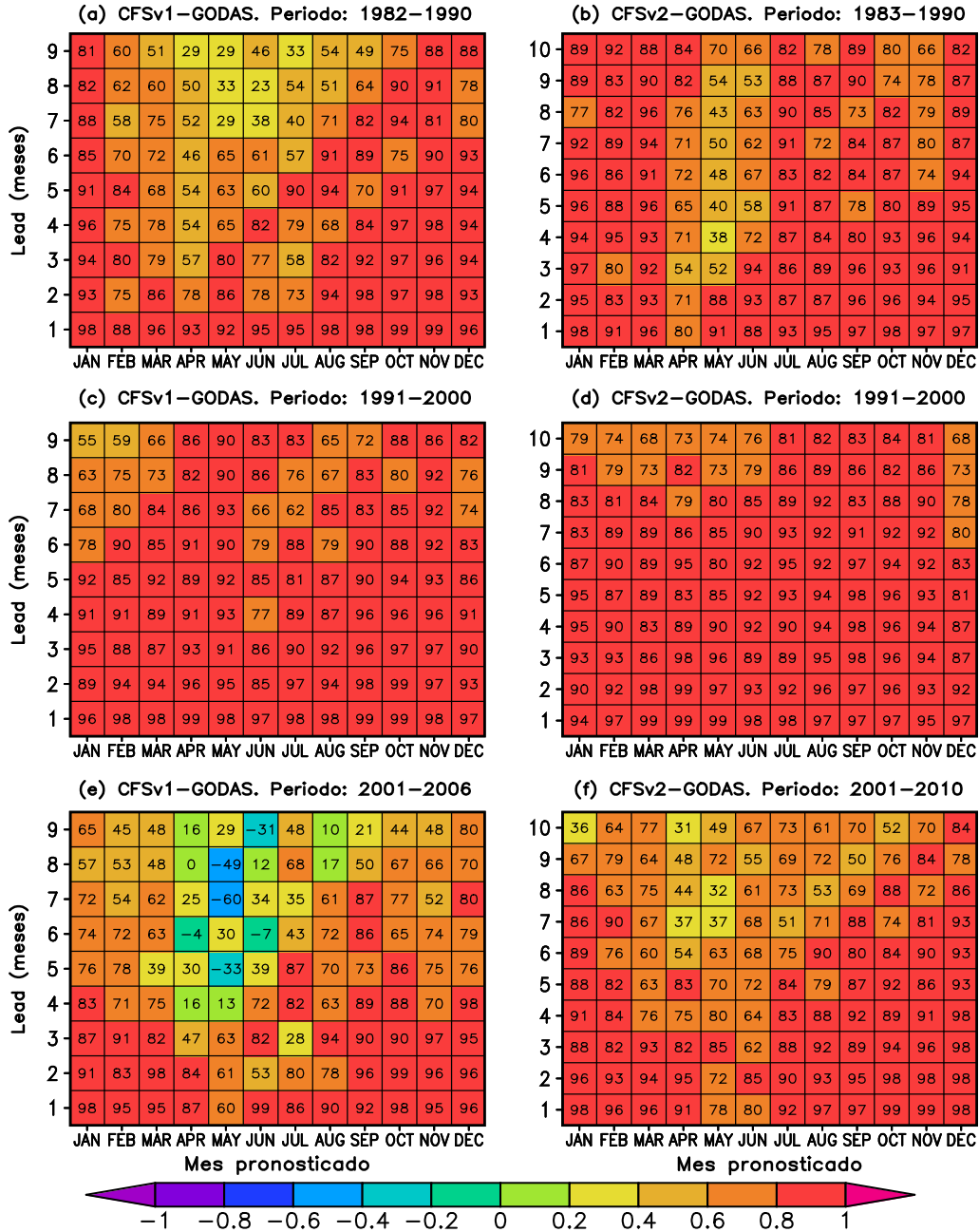


Figura 5.98: CC de las anomalías de NMM para la región Niño 3.4, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-GODAS para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-GODAS para el periodo 2001-2010.

5.10. Error de raíz cuadrada media (ERCM) de ANMM pronosticada CFSv1 y observada (GODAS) por periodos.

El ERCM de las anomalías del NMM con los datos del modelo CFSv1 y los resultados de GODAS para las Figuras 5.99 y 5.100 fueron multiplicados por el factor 100, para el período 1982-1990 en la región Niño 1+2, Figura 5.99a se observa que los menores errores son entre 0.02 y 0.03 metros en los dos primeros leads de los meses de junio y marzo, los meses de abril y mayo tienen el mayor error entre 0.05 y 0.07 m desde el segundo lead, para el mes de mayo entre los lead 3 y 5 muestran el error máximo que es 0.08 m. El período 1991-2000 del modelo CFSv1 y GODAS (Figura 5.99c) tiene errores menores a 0.04 m en los primeros tres leads a excepción del mes de junio con el error igual a 0.05 m, los meses siguientes en general muestran variabilidad en los errores, el máximo error es 0.08 m en el lead 9 para el mes de diciembre. El resultado de los ERCM para el período 2001-2006 del modelo CFSv1 y GODAS Figura 5.99e, se observa en general mayores errores que los dos periodos anteriores, los meses con mayores errores es para los meses entre noviembre y febrero, el máximo error es de 0.12 m en el mes de diciembre para el lead 4, los menores errores se observa entre los meses de julio y setiembre. Los errores en el modelo CFSv2 y GODAS para el período 1983-1990 Figura 5.99b, tiene como resultado menores entre 0.01 y 0.02 m entre los meses octubre y diciembre hasta el lead 6, los mayores errores se observa para los meses de mayo y junio para los leads 3 y 4. El periodo 1991-2000 del modelo CFSv2 y GODAS Figura 5.99d las correlaciones se encuentran entre 0.03 m y 0.05 m en los dos primeros leads el máximo error se encuentra en el lead 10 para el mes de diciembre, los resultados de este modelo muestran mayor error comparando con los resultados en la Figura 5.99c. El periodo 2001-2010 para el modelo CFSv2-GODAS Figura 5.99f, los máximos errores se observó en los meses de noviembre y febrero y las mínimos errores se observó entre los meses de agosto y octubre. En los primeros periodos de dos versiones del modelo CFS muestra resultados similares, coincidiendo los máximos y mínimos errores en los mismos meses, en el tercer periodo si se observa más variabilidad mostrando el CFSv1 los mayores errores.

El ERCM de las anomalías de ANMM en la región Niño 3.4, el modelo CFSv1 y GODAS en el período 1983-1990 Figura 5.100a, muestra como resultado mayores errores en los meses de febrero y marzo después del lead 2, en el caso del mes de marzo después del lead 3 tienen valores mayores a 0.05m. El período 1991-2000 del modelo CFSv1 y GODAS, Figura 5.100c, muestra errores de poca diferencia unos con otros en los primeros leads, los meses de abril y mayo muestran los menores errores, en general el resultado muestra menor error que el de la figura anterior. El periodo 2000-2006 de los datos de CFSv1 y GODAS, Figura 5.100.e los errores tienen poco errores con resultados entre 0.01 y 0.03 m en los primeros 3 leads, los resultados para este período son menores para las dos figuras anteriores. Los resultados para el modelo 1983-1990 de los datos de CFSv2 y GODAS Figura 5.100b los menores errores se observa en el mes de enero en los 6 primeros leads con resultados entre 0.01 m y 0.02 m. Para el período 1991-2000 del modelo CFSv2 y GODAS, Figura 5.100d los errores son menores en los primeros leads, se observa los mayores errores entre los meses de diciembre y febrero después del lead 3, aunque la diferencia en los resultados es pequeña comparada con los primeros leads. La Figura 5.100.f para el período 2001-2010 del modelo CFSv2 y GODAS en general los resultados muestran bajos índices de error, como en la mayoría de resultados los mayores errores se observan en los últimos leads. En el primer período se observa mayores errores en el CFSV1, mientras que el segundo y tercer período ambas versiones del CFS muestran resultados similares.

ERCM de las ANMM (Pronostico-Observado). Region Niño 1+2

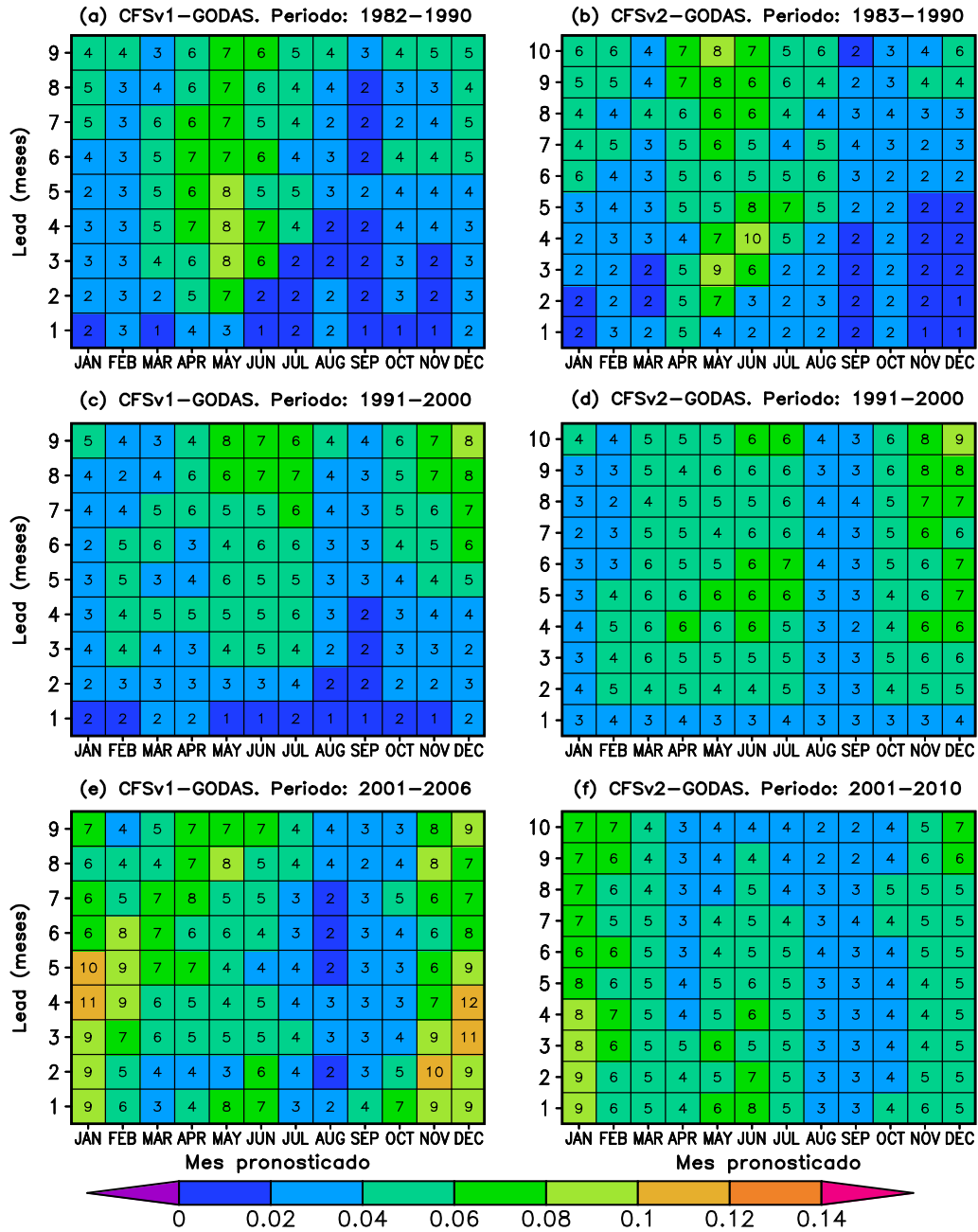


Figura 5.99: ERCM de las anomalías de NMM para la región Niño 1+2, a) CFSv1-GODAS para el período 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.

ERCM de las ANMM (Pronostico-Observado). Region Nino 3.4

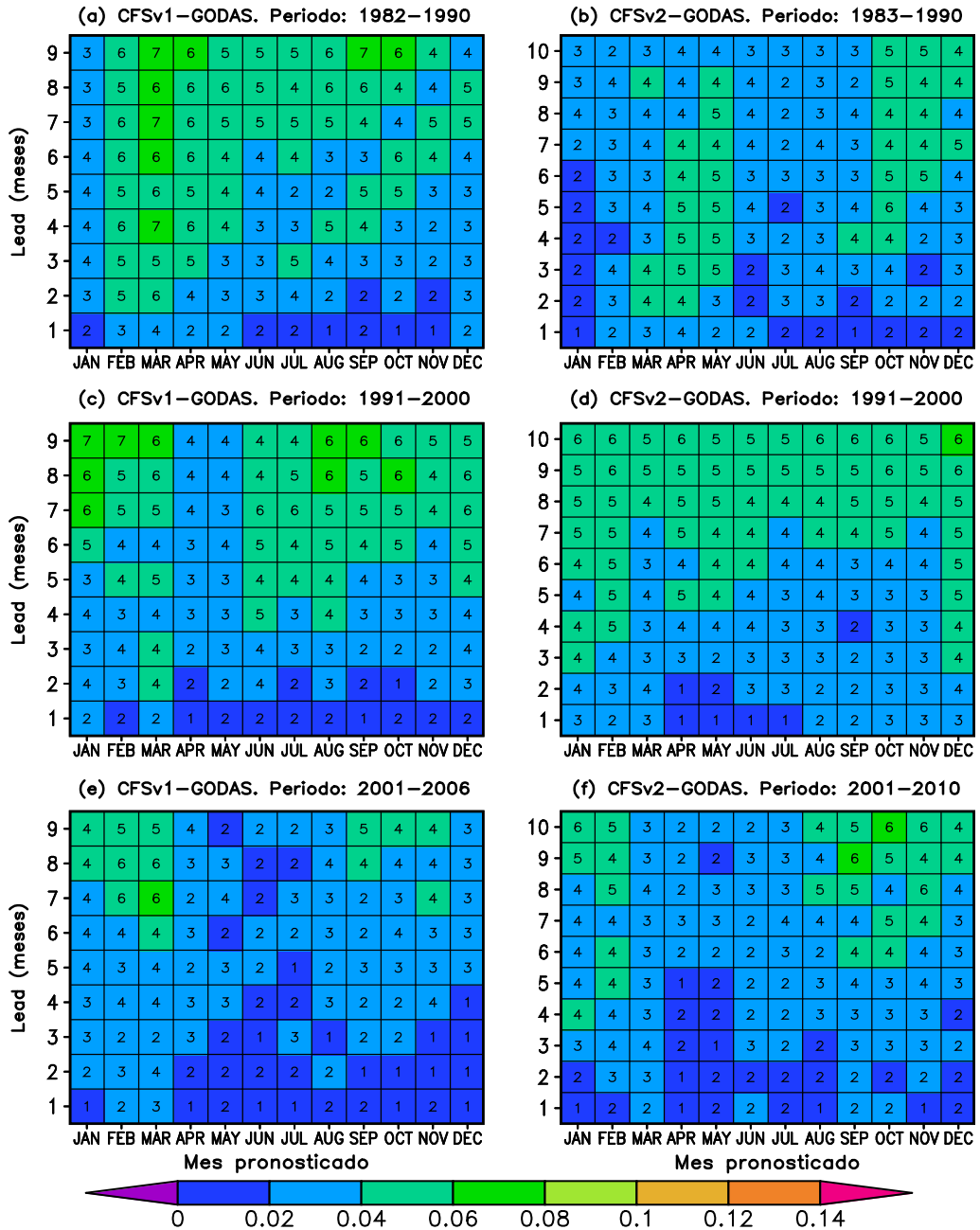


Figura 5.100: ERCM de las anomalías de NMM para la región Niño 3.4, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-GODAS para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-GODAS para el periodo 2001-2010.

5.11. Análisis de series de tiempo de API15°C con datos de pronóstico de CFS y datos observados de GODAS en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4

Se realizó la comparación de las series de tiempo de las anomalías de la profundidad de la isoterma de 15°C (API15°C) para las dos versiones del modelo CFS en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4. La profundidad de la isoterma de 15°C en la región Niño 3.4, tiene valores diferentes a las profundidades en la región Niño 1+2, en condiciones normales la isoterma de 15°C es más superficial en la región Niño 1.2 con respecto a la región Niño 3.4.

En la región Niño 1+2, para la versión 1 del modelo CFS, Figuras 101-109, se observa que en los primeros meses del año 1982 las diferencias son positivas en los 7 primeros leads, lo que indica la sobrestimación del modelo con respecto a las condiciones observadas, las API15°C de los datos observados disminuyen a inicios de 1983 mientras que los pronósticos también muestran el descenso en mayor magnitud, al ver las diferencia (CFS-GODAS), estas se incrementan se hacen más negativas a mayor leads. Para el año 1997, el modelo subestima los meses entre abril y agosto del evento a partir del lead 3, similar en los mismos meses para el año 1998. El evento Niño de 1987 es sobrestimado por los pronósticos, siendo la diferencia mayor al incrementar los leads, para el evento de 1992 la serie de los pronósticos subestiman las condiciones observadas. El pronóstico para la misma región con la segunda versión del modelo CFS (Figuras 110-119), se observa que el modelo subestima el evento del año 1983, para el evento 1997-1998 las condiciones son similares a las observadas con el CFSv1, los pronósticos subestiman las condiciones observadas entre los años 1983-1989, después del año 2000 los pronóstico de CFSv2 sobrestiman los datos observado, los últimos 5 años de datos se observa 50m de sobrestimación en promedio. Las diferencias en esta versión del modelo son mayores comparadas con el CFSv1.

La versión 1 del modelo CFS en la región Niño 3.4 (Figuras 5.120-5.128) en los tres primeros leads se observa que la diferencia de las dos series es próxima

5.11. Análisis de series de tiempo de API15° C con datos de pronóstico de CFS y datos observados de GODAS en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4 109

a cero metros en el inicio del evento 1982-1983, la diferencia se hace positiva en el fin del evento, donde los pronósticos sobrestiman las condiciones de fin del evento. En el evento 1997-1998 los pronósticos subestiman las condiciones observadas, al igual que para el evento de 1992. Para los eventos Niña de los años 1983 y 1998, el modelo subestima las condiciones frías, siendo mayor la subestimación al incrementar los leads. Los pronósticos de la versión 2 del CFS (Figuras 5.129-5.138), muestran como en CFSv1 la subestimación de las máximas anomalías del modelo. Llama la atención la serie de diferencias para los eventos Niña donde se observan diferencias positivas, es decir los pronósticos subestimaron las anomalías negativas observadas.

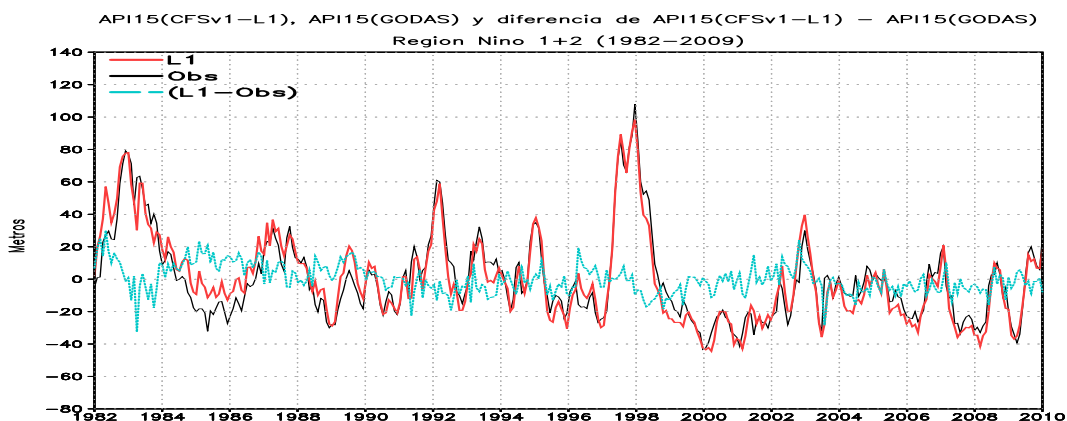


Figura 5.101: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

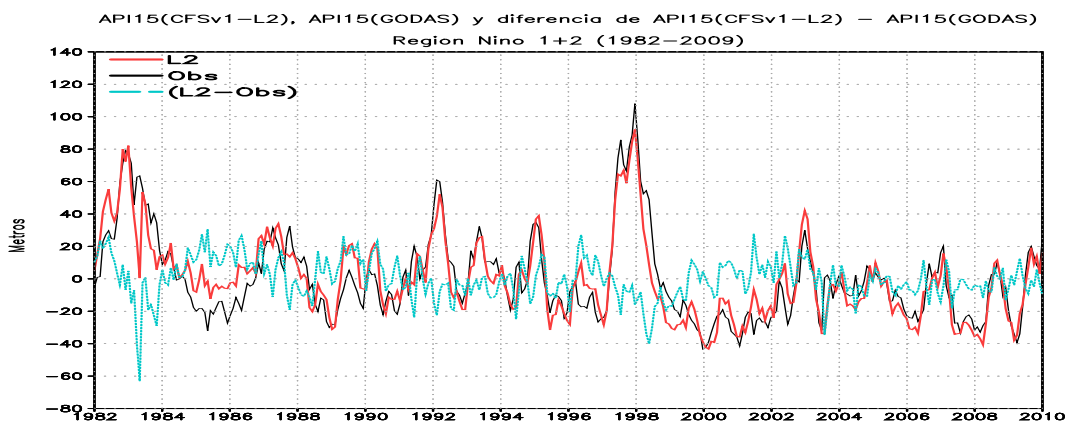


Figura 5.102: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

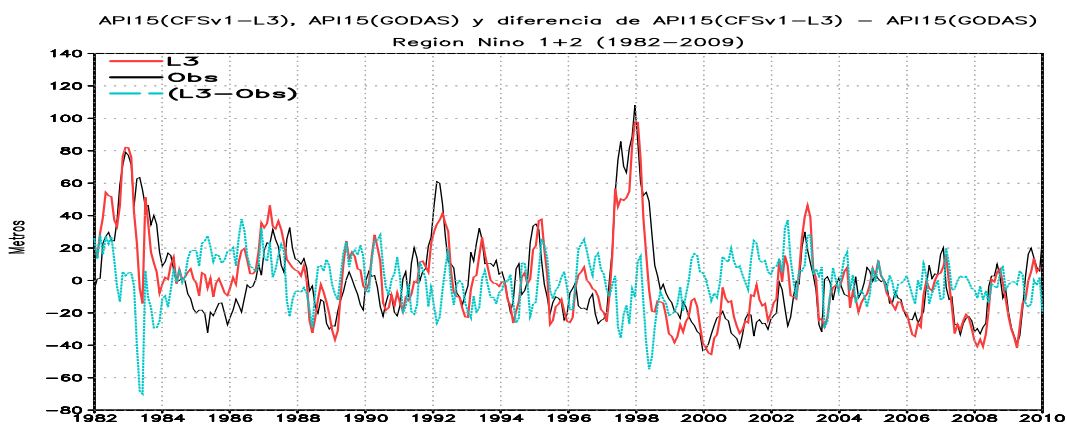


Figura 5.103: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

5.11. Análisis de series de tiempo de API15°C con datos de pronóstico de CFS y datos observados de GODAS en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4 111

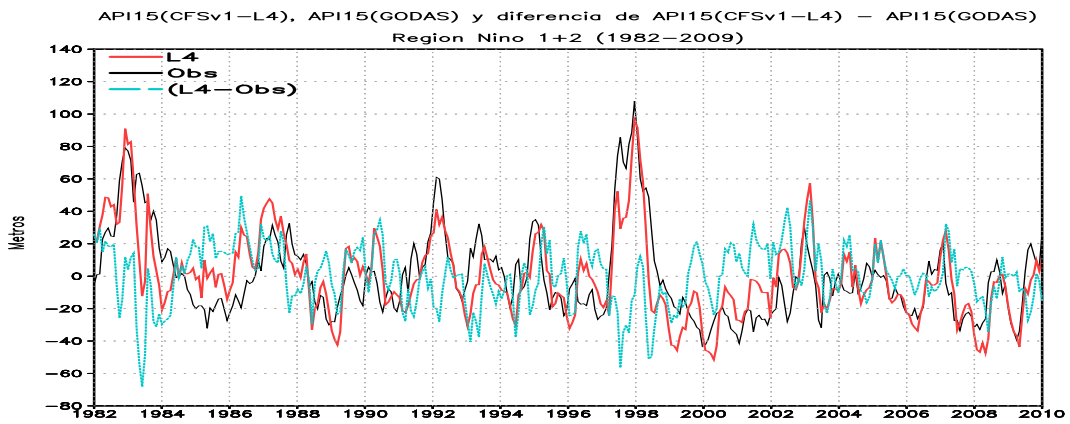


Figura 5.104: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

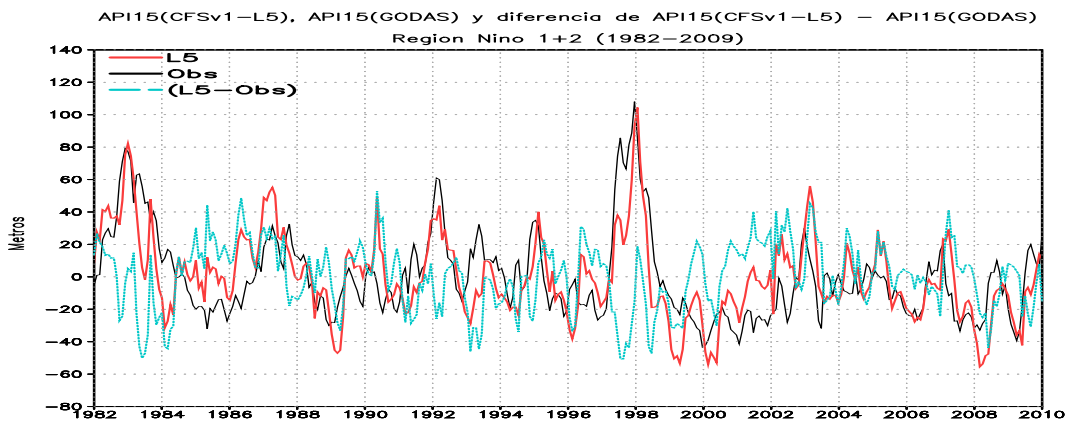


Figura 5.105: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

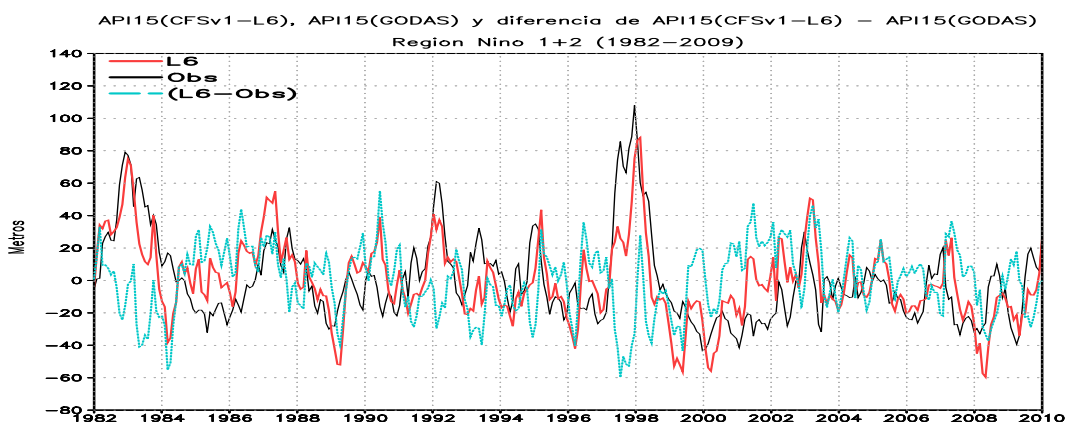


Figura 5.106: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

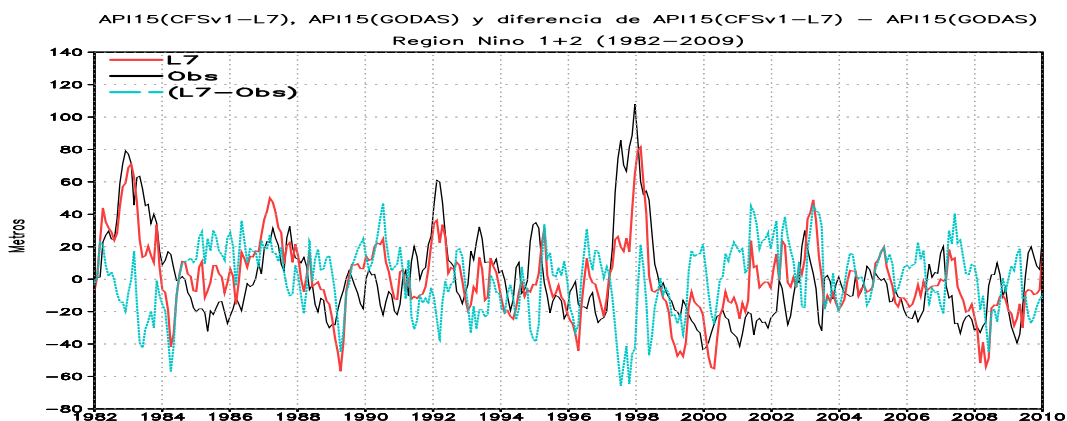


Figura 5.107: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

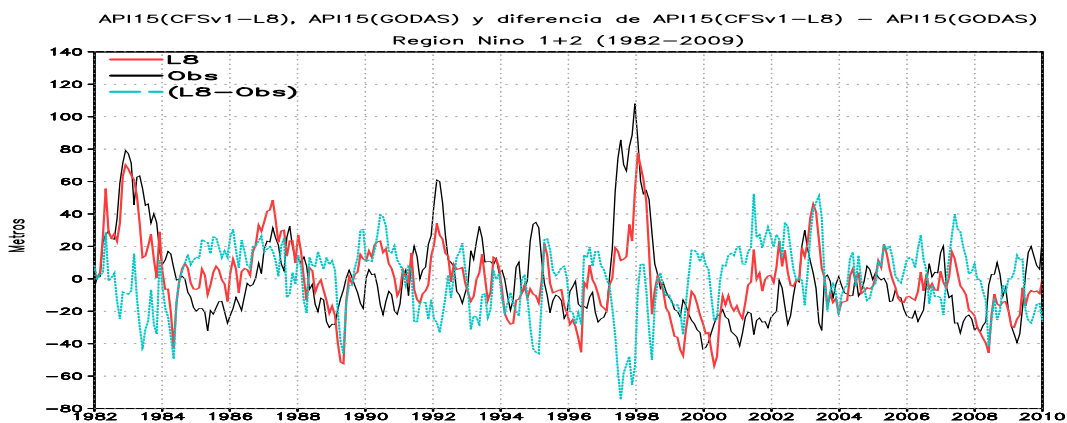


Figura 5.108: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

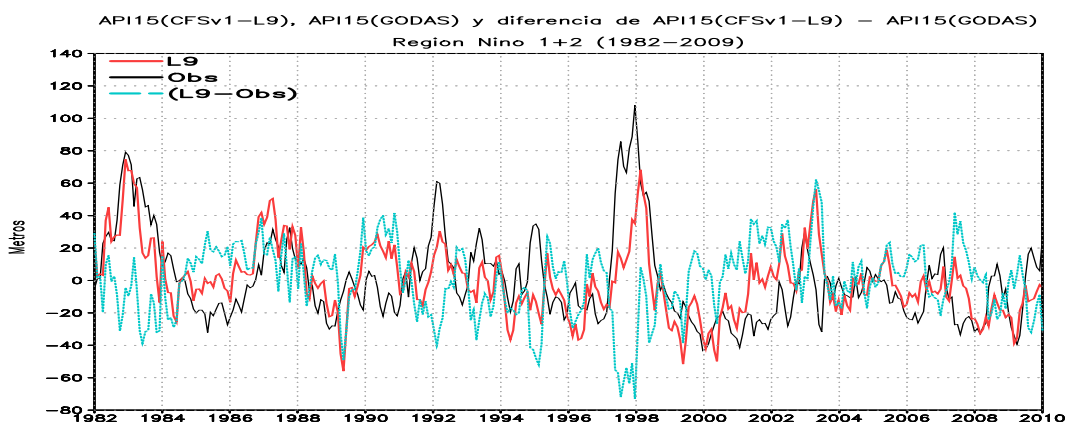


Figura 5.109: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

5.11. Análisis de series de tiempo de API15°C con datos de pronóstico de CFS y datos observados de GODAS en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4 113

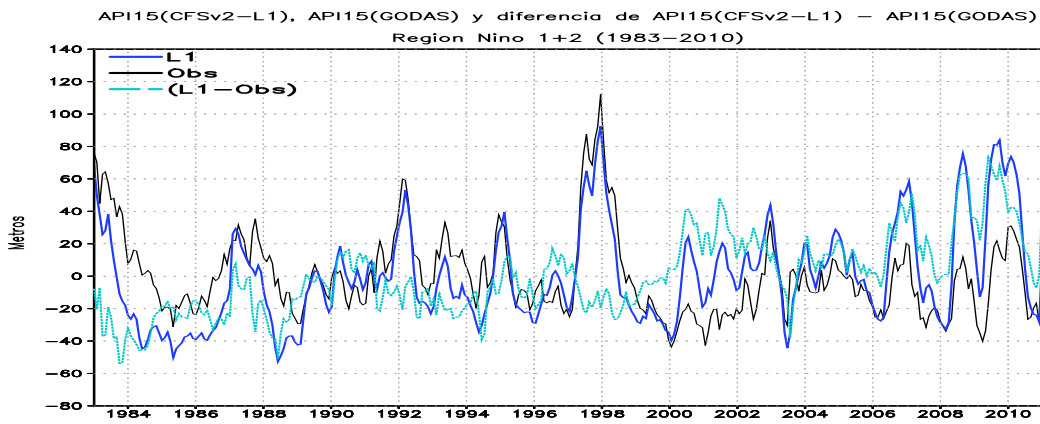


Figura 5.110: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L1 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

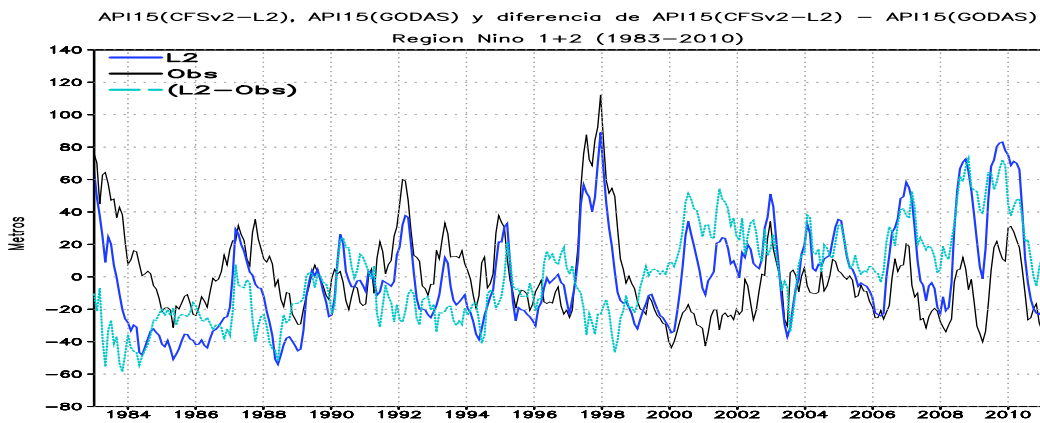


Figura 5.111: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L2 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

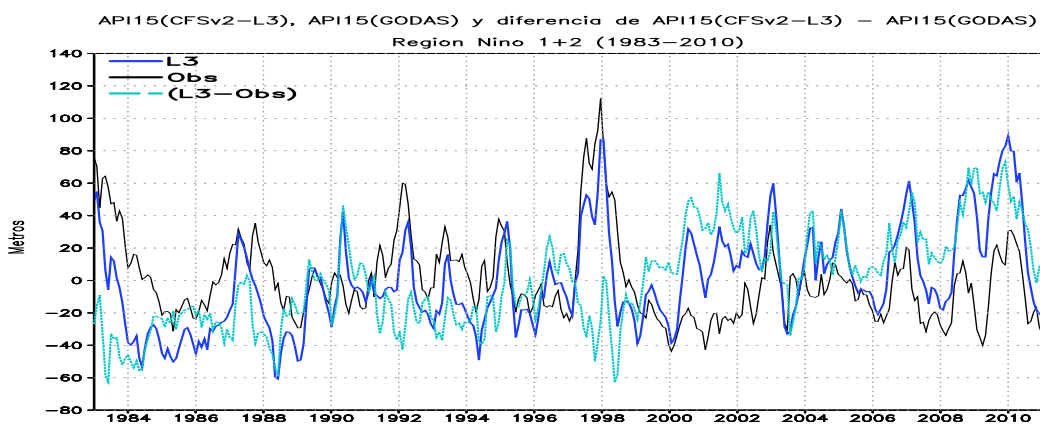


Figura 5.112: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L3 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

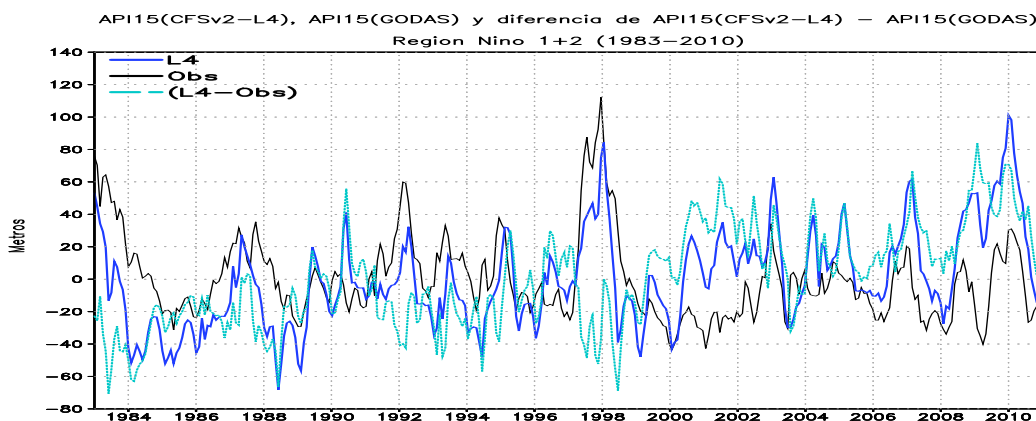


Figura 5.113: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L4 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

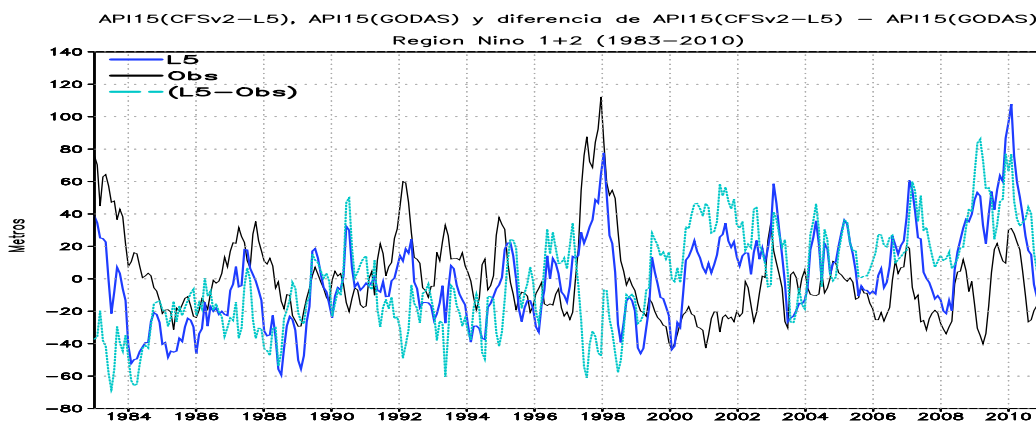


Figura 5.114: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L5 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

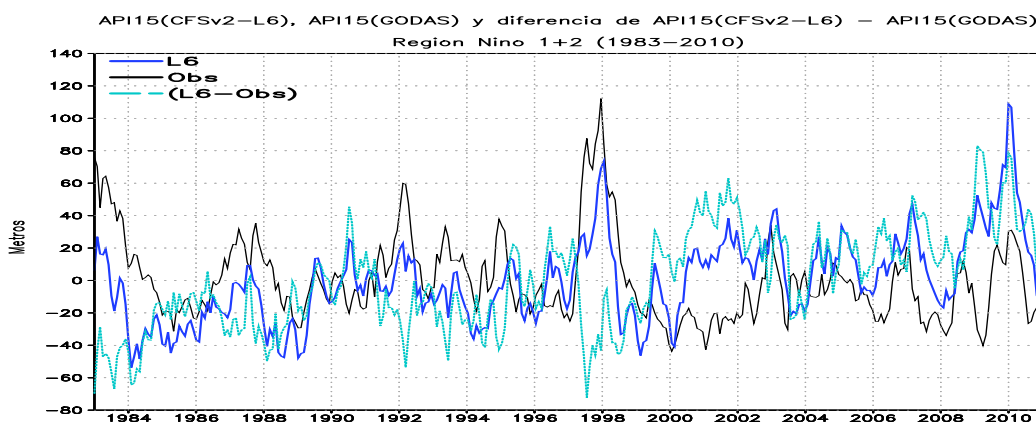


Figura 5.115: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L6 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

5.11. Análisis de series de tiempo de API15°C con datos de pronóstico de CFS y datos observados de GODAS en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4 115

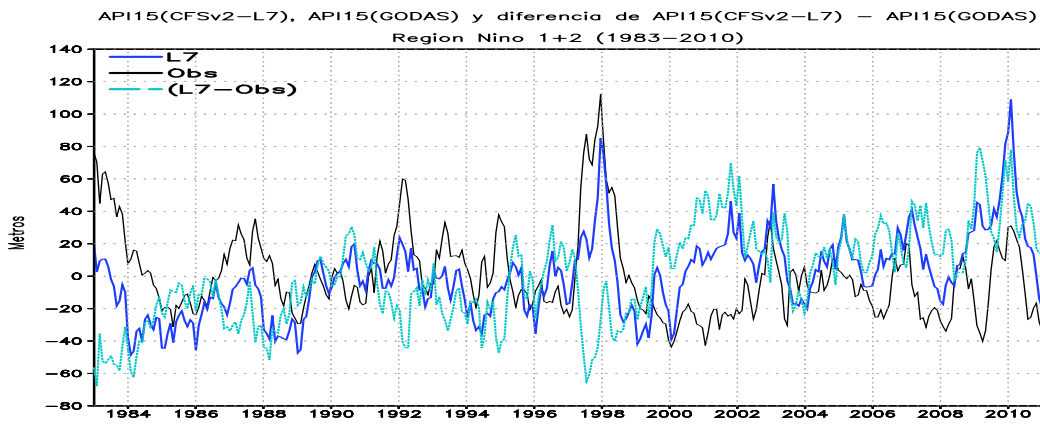


Figura 5.116: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L7 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

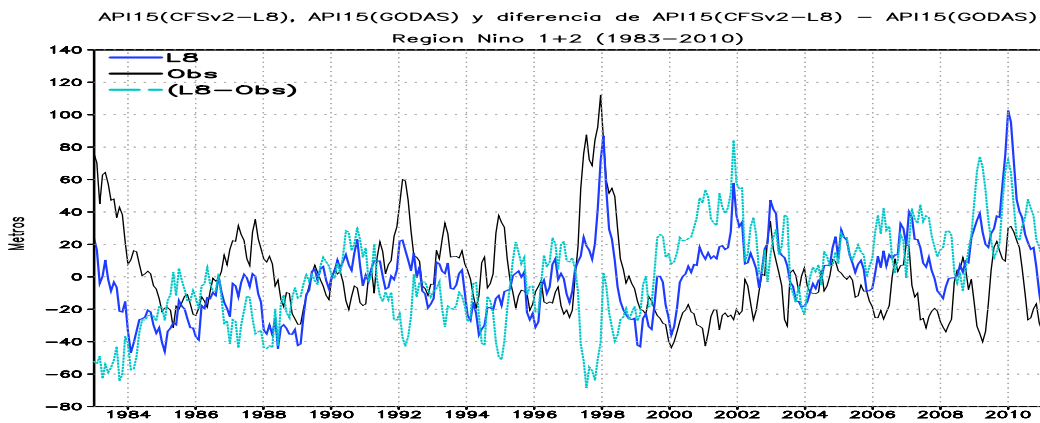


Figura 5.117: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L8 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

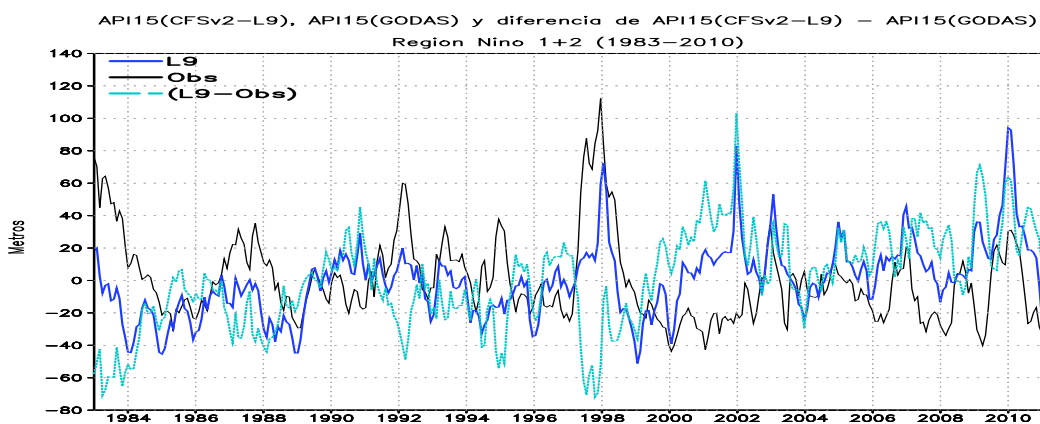


Figura 5.118: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L9 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

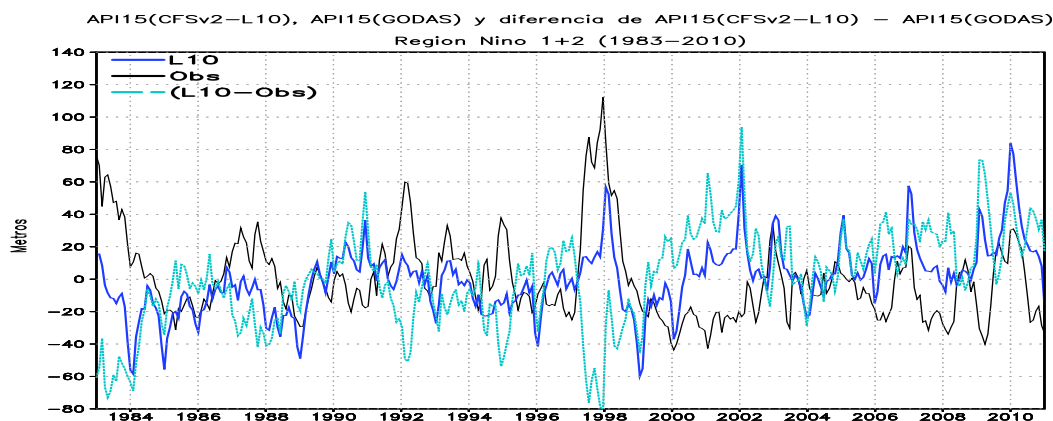


Figura 5.119: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L10 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

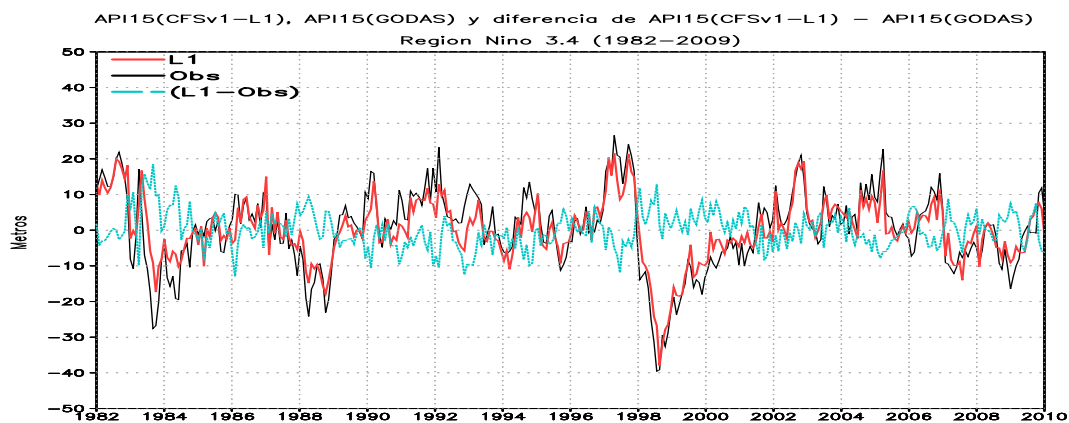


Figura 5.120: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

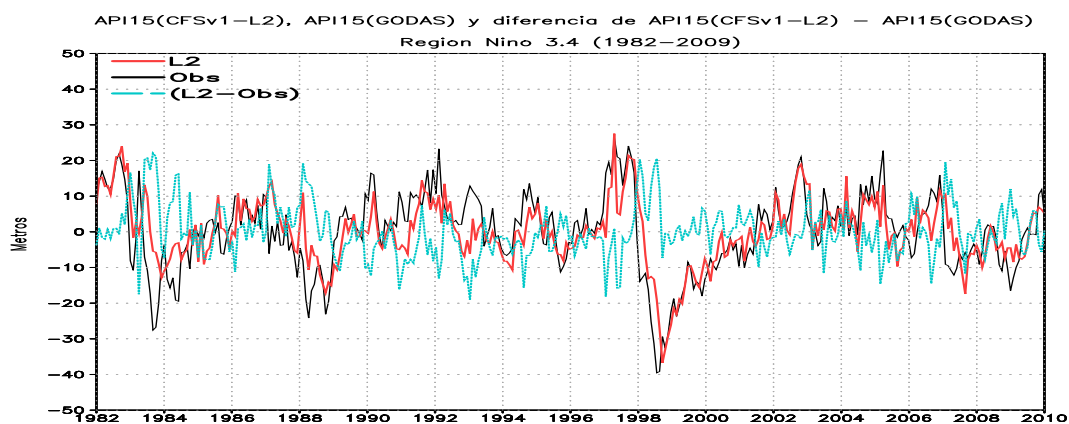


Figura 5.121: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

5.11. Análisis de series de tiempo de API15°C con datos de pronóstico de CFS y datos observados de GODAS en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4 117

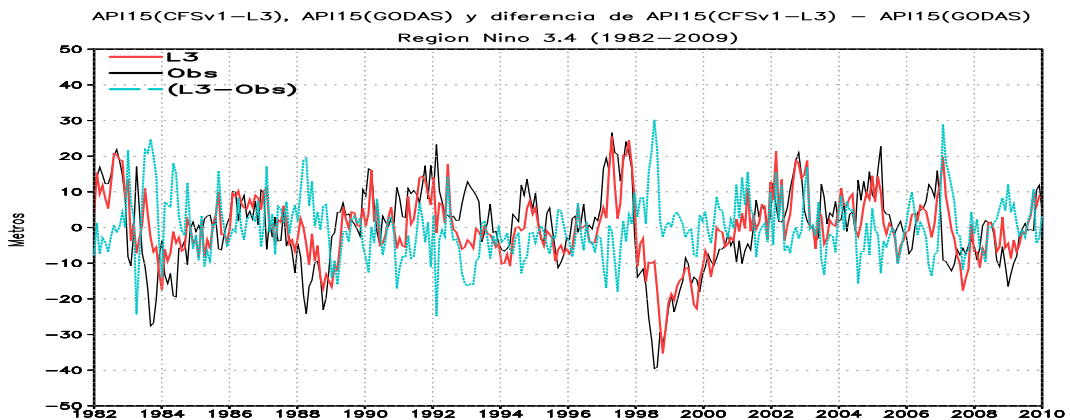


Figura 5.122: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

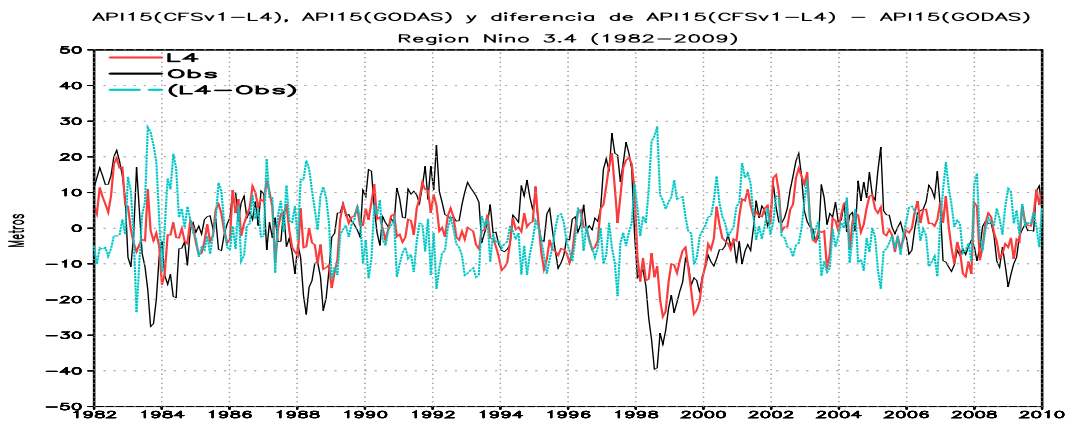


Figura 5.123: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

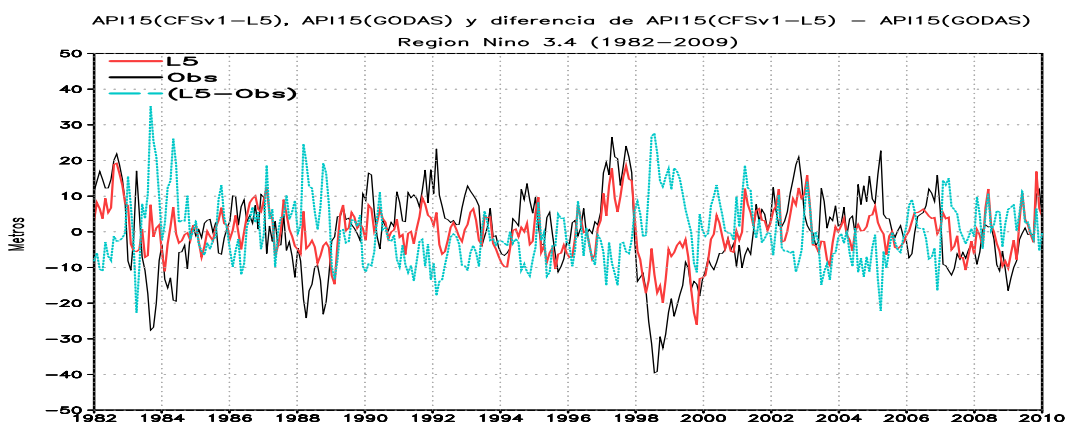


Figura 5.124: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

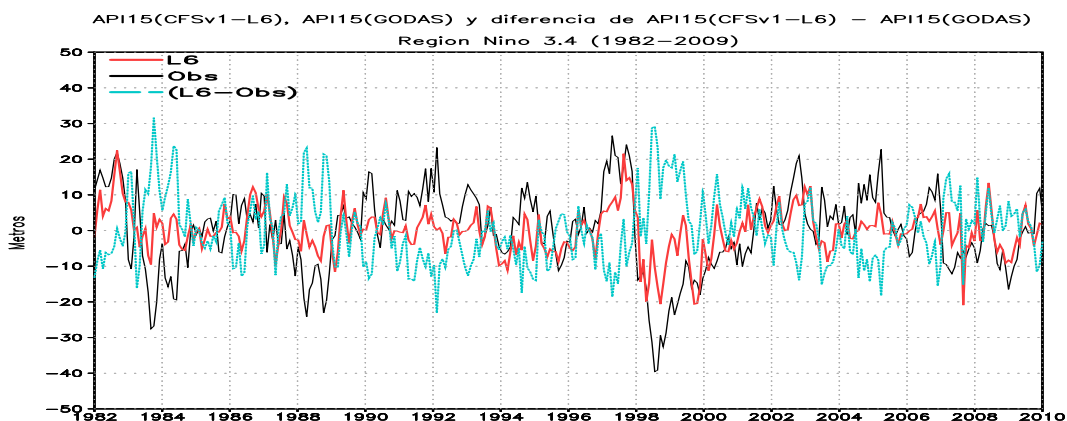


Figura 5.125: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

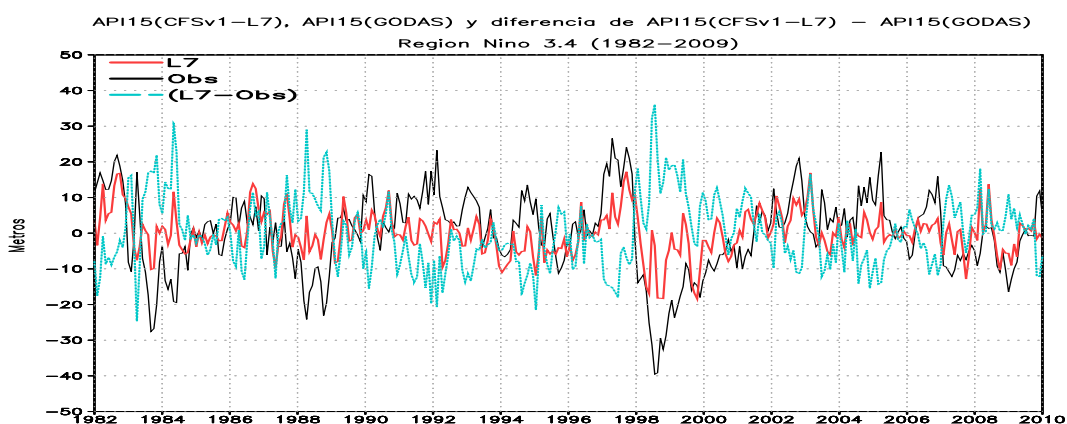


Figura 5.126: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

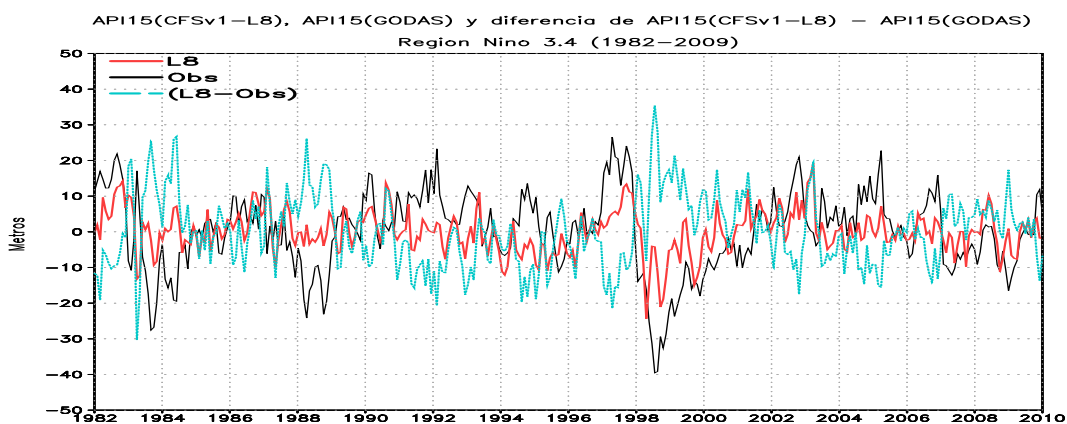


Figura 5.127: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

5.11. Análisis de series de tiempo de API15°C con datos de pronóstico de CFS y datos observados de GODAS en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4 119

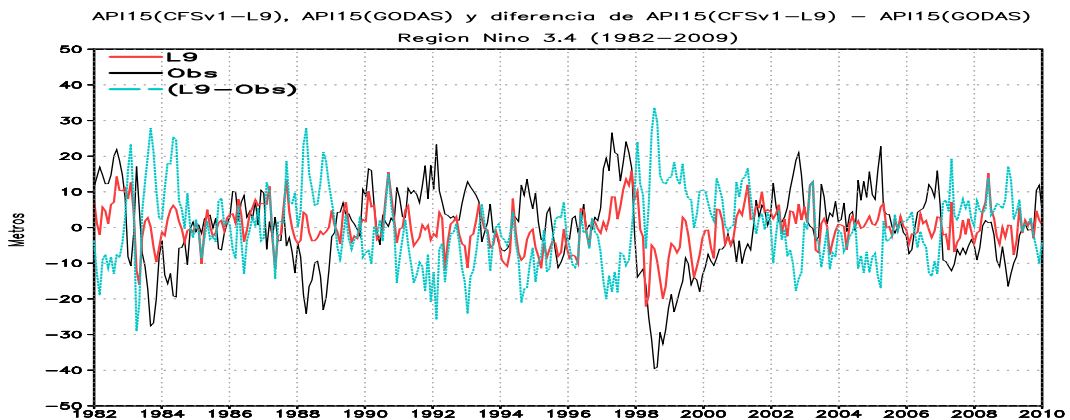


Figura 5.128: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

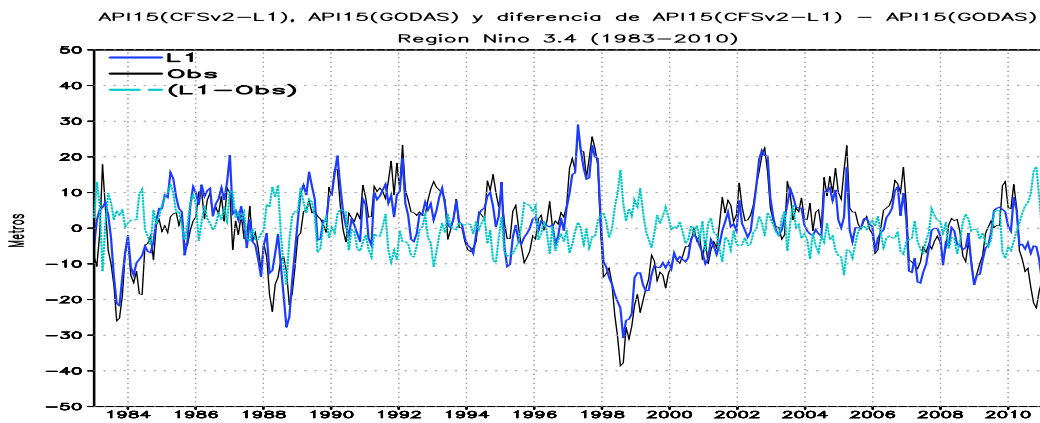


Figura 5.129: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L1 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

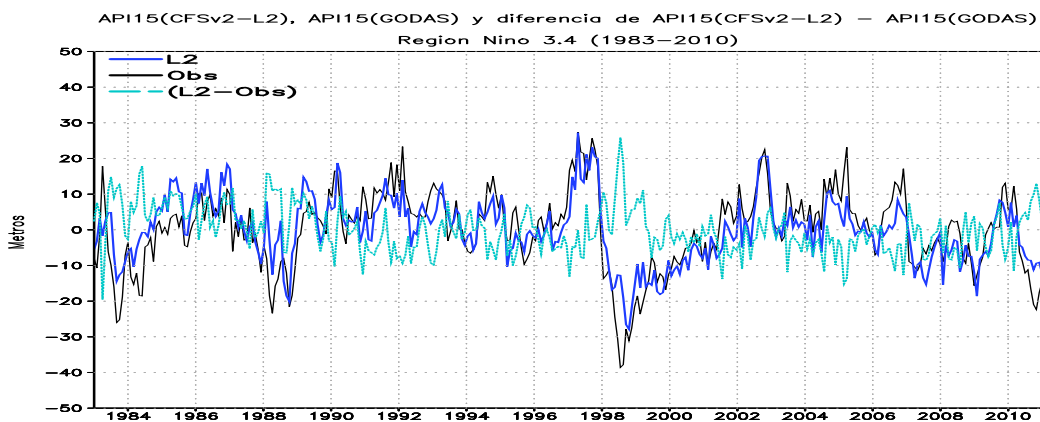


Figura 5.130: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L2 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

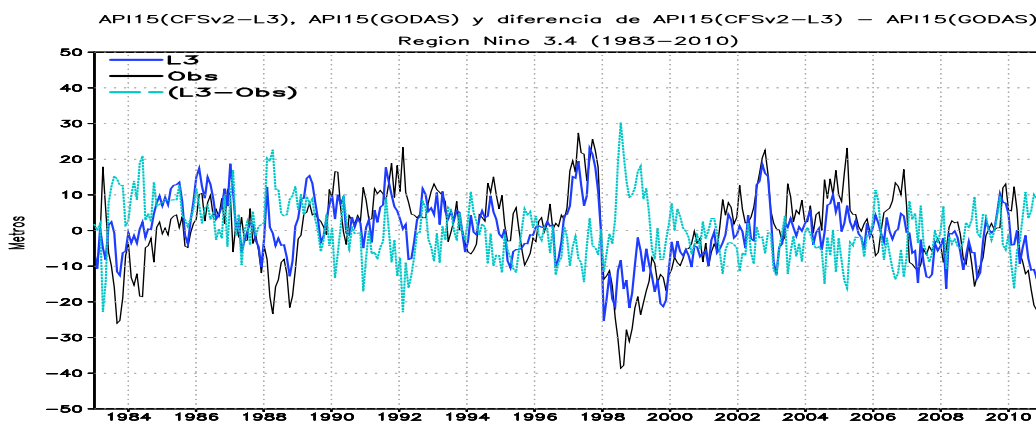


Figura 5.131: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L3 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

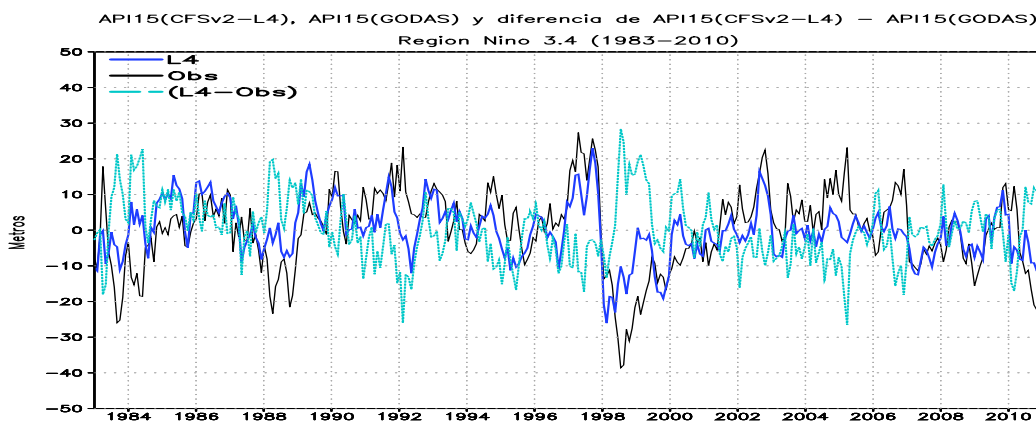


Figura 5.132: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L4 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

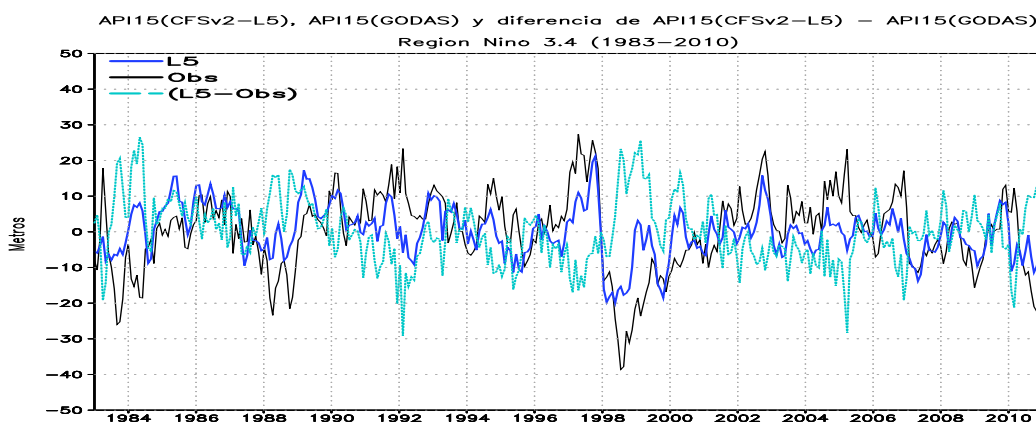


Figura 5.133: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L5 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

5.11. Análisis de series de tiempo de API15°C con datos de pronóstico de CFS y datos observados de GODAS en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4 121

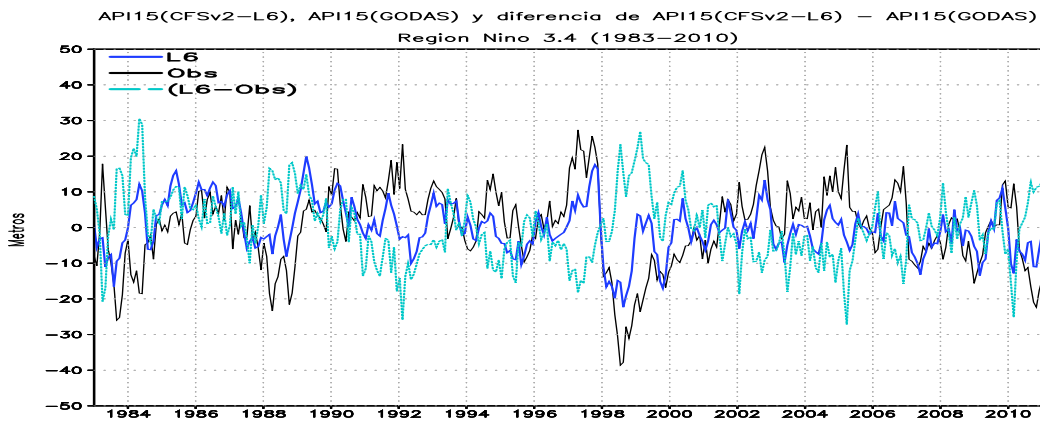


Figura 5.134: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L6 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

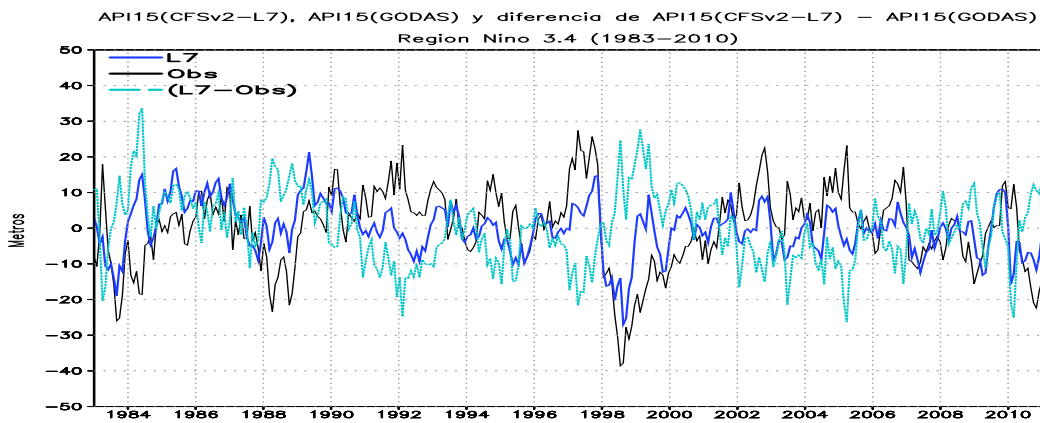


Figura 5.135: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L7 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

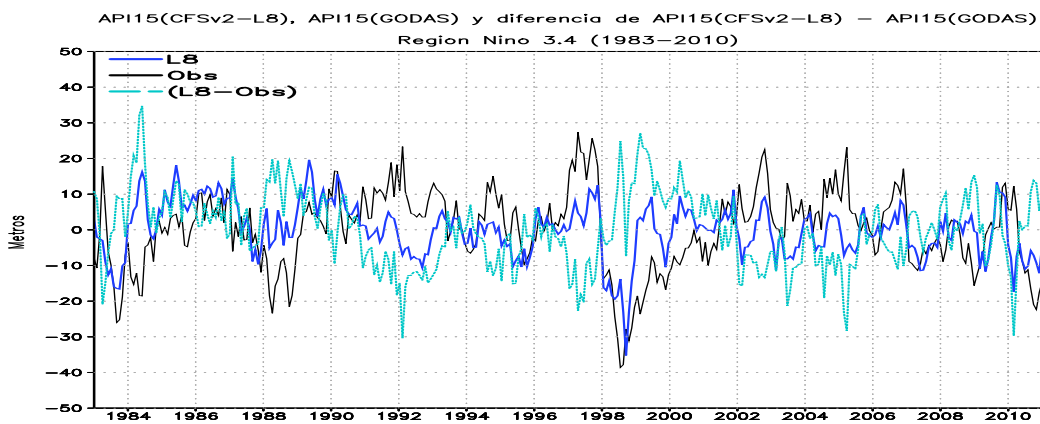


Figura 5.136: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L8 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

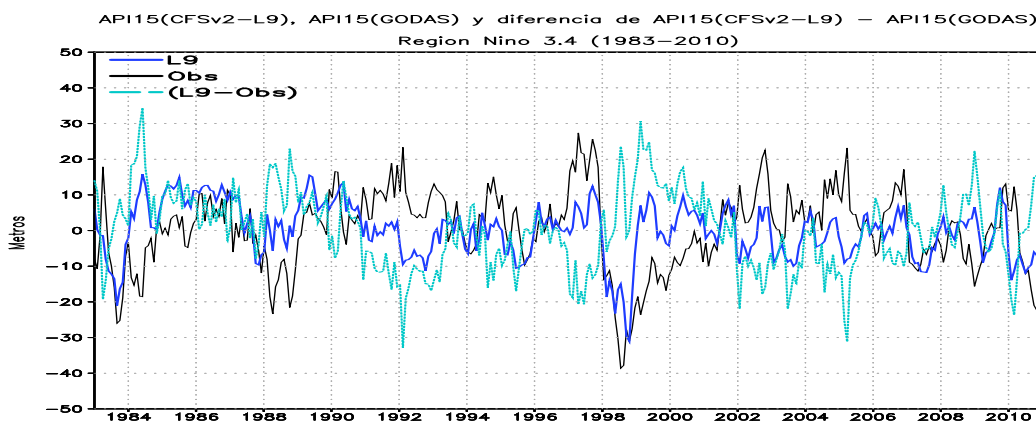


Figura 5.137: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L9 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

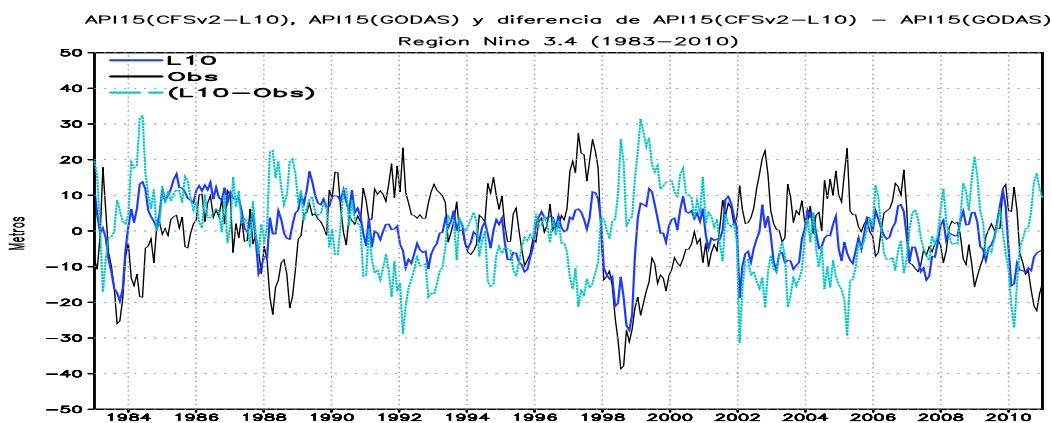


Figura 5.138: Series de tiempo de las API15°C observada (negra) y de CFSv2 para L10 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

5.12. Coeficientes de correlación de API15°C pronosticada (CFS) y observada (GODAS)

Los resultados del CC para la región Niño 1+2 del modelo CFSv1 y GODAS para la CC de las anomalías de variable API15°C, en el periodo 1982-2009 son mostradas en la Figura 5.139a, en la cual se observó que los resultados son iguales o mayores a 0.7 hasta el lead 9 entre los meses de enero y marzo, mientras que para los meses entre octubre y diciembre hasta el lead 8, los meses de abril y agosto muestra correlaciones mayores a 0.7 solo hasta el lead 4, en los meses de mayo, junio y julio se observa las menores correlaciones, en el mes de mayo es donde se observó que la correlación es menor a 0.56 desde el lead 3. Las correlaciones de modelo CFSv1 y GODAS para el periodo 1984-2009 sin tomar los años 1997-1998 (Figura 5.139b), se observa que los niveles máximos de correlación coincide con los mismos meses de la figura antecedente, sin embargo la magnitud de los CC son menores; los meses entre mayo y julio son los que muestra la menor correlación; se distinguió correlaciones negativas en los últimos leads de los meses de julio y agosto. En la versión 2 del modelo CFS y los datos de GODAS, en el periodo 1983-2010, Figura 5.139c se observó que los CC son menores comparándolos con la Figura 5.139a, los meses de máxima correlación son entre los meses de noviembre y abril, sin embargo las correlaciones mayores a 0.7 solo se observa entre los 2 primeros leads; los meses de menor correlación son para los meses de junio y julio en los cuales se aprecia correlaciones negativas en los leads 5 y 6, también en los leads finales para los mismos meses. En el periodo 1984-2010, con la misma versión del modelo anterior sin tomar los años 1997-1998, Figura 5.139d se distinguió nuevamente que las correlaciones disminuyen tomando como referencia las tres figuras anteriores, las correlaciones máximas y mínimas se encuentra igual que en la Figura 5.139c, pero con menores correlaciones, también el lead 10 y 9 para los meses de junio y julio respectivamente.

Los CC con el modelo CFSv1 y GODAS para la API15°C de en el periodo 1982-2009 en la región Niño 3.4, Figura 5.140a se observa las correlaciones máximas entre los meses de agosto y diciembre, los meses entre julio y octubre

se observa que el CC muestra un alto valor entre los leads 5 y 7 correspondiente a cada mes de pronóstico, en los leads previos los CC mostraron ser menores. El CC con la misma versión de datos de la figura anterior para el periodo 1984-2009 sin tomar los años 1997-1998 Figura 5.140b las correlaciones máximas se observaron entre los meses de agosto y noviembre para los 5 primeros leads, se notó CC negativos en los meses de mayo y junio desde del lead 5, en los meses de verano se observaron valores menores a 6.7 en el lead 2. La Figura 5.140c muestra el CC para el periodo 1983-2010 de la versión 2 del CFS y los datos de GODAS, donde los CC máximos se observan entre los meses de agosto y noviembre con el límite en el lead 8 y con valores mayores a 0.68, se observa CC negativos en los leads finales desde el lead 9 y 8 para los meses de enero y febrero respectivamente. La Figura 5.140.d es el resultado para el periodo 1984-2009 con el modelo CFSv2 y GODAS, sin tomar los años 1997-1998, el CC es de menor valor comparados con la Figura 140.c, se observó los CC máximos entre los meses de agosto y noviembre con valores mayores a 0.62 hasta el lead 6, el número de CC negativas son mayores a los observados a las figuras anteriores, mostrando en los meses de enero y febrero desde el lead 7 y 8 respectivamente, y los meses entre mayo a julio para los leads 7, 6 y 9 respectivamente.

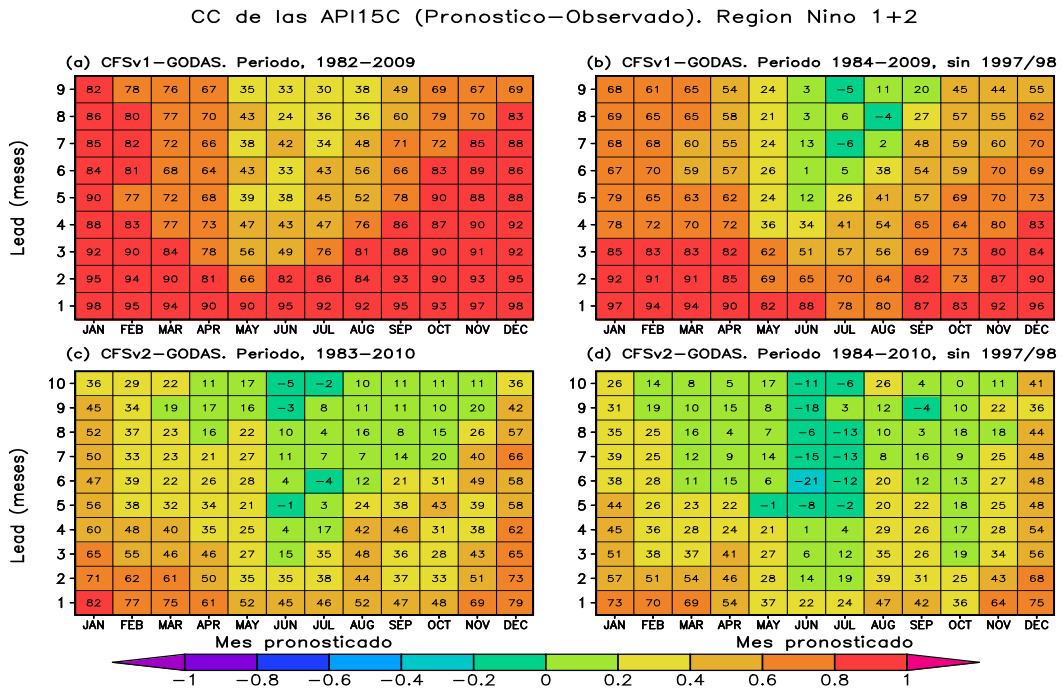


Figura 5.139: CC de las anomalías de PI15°C para la región Niño 1+2, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

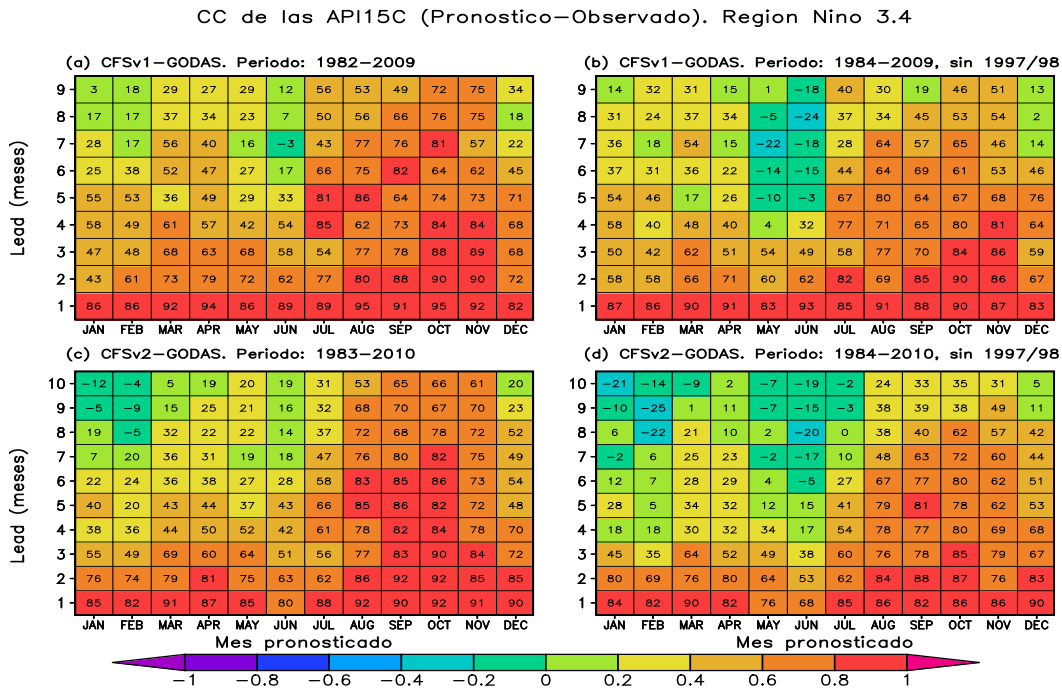


Figura 5.140: CC de las anomalías de PI15°C para la región Niño 3.4, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

5.13. Error de raíz cuadrada media (ERCM) de la API15°C pronosticada (CFS) y observada (GODAS).

Los resultados del ERCM de las API15°C para el periodo 1982-2009 en la región Niño 1+2 con el modelo CFSv1 y los datos de GODAS son mostradas en la Figura 141a. Los menores errores 7 y 16 metros se observan en los tres primeros leads para los meses de julio y abril, los meses de mayo y junio mostraron errores de 20 y 25 metros desde el lead 2 y 3 respectivamente, estos meses muestran errores máximos en los siguientes leads, también los meses entre febrero y julio a partir del lead 5. Tomando los mismos datos de la figura anterior, en el periodo 1984-2009, excluyendo los años 1997-1998 (Figura 141b), se observan errores menores a 18 metros en los tres primeros leads. Los máximos errores se observan entre los meses de febrero y junio a partir del lead 4 con errores mayores a 19m. La figura 141c son los resultados del modelo CFSv2 y GODAS para el periodo 1983-2010, donde se observa que los errores son mayores a los de las figuras anteriores, en los 2 primeros leads se observa variabilidad con errores entre 21 y 32 m, en el mes de junio entre los lead 3 y 5 se observa máximos errores con valores entre 38 y 39 metros, para el mes de julio en el lead 5, además desde el lead 1 se observa errores mayores o iguales a 30 m; para los meses de enero y febrero en el lead 6 y 4 se observa errores mayores a 30 m. La figura 141d es el resultado del modelo CFSv2 y GODAS para el periodo 1984-2010 sin tomar los años 1997 y 1998, el cual también muestra gran variabilidad, los máximos errores se observa en los meses de enero y febrero a partir del lead 4, con errores mayores a 35m, los errores son tenuemente menores con respecto a la Figura 141c.

El ERCM de las API15°C en la región Niño 3.4 para el periodo 1982-2009 del modelo CFSv1 y GODAS Figura 142a se observa en los 4 primeros leads para los meses entre marzo y diciembre errores menores a 9 m, los meses de enero y febrero muestra valores de 10 m en los leads 2 y 3, el máximo error es de 12 m en el mes de febrero a partir del lead 7. Los resultados de ERCM para los mismos datos de la figura anterior, para el periodo 1984-2009 sin tomar los años 1997-1998 (Figura 142b) se vio errores entre de 10 y 11 m en los

meses de febrero, marzo y mayo a partir del lead 3, 2 y 5 respectivamente; las dos figuras anteriores muestran errores similares. El modelo CFSv2 y GODAS para el periodo 1983-2010 (Figura 142c) los errores máximos entre 10 y 14 m se observa en el mes de febrero a partir del lead 3, entre los meses de marzo y julio a partir del lead 5. El RMSE para los mismos datos de la figura anterior, del periodo 1984-2010 sin considerar los años 1997-1998 (Figura 142d), los errores máximos se observa en los meses de febrero y marzo con valores mayores de 10 m se observa a partir del lead 3, y entre los meses de abril y junio en los lead 8 y 6, y en los leads finales de octubre y diciembre, los errores en estas dos figuras son similares, sin embargo al comparar las dos versiones del CFS, se observa que los errores en el CFSv2 son levemente mayores a los de la versión del CFSv1.

ERCM de las API15 (Pronostico-Observado). Region Nino 1+2

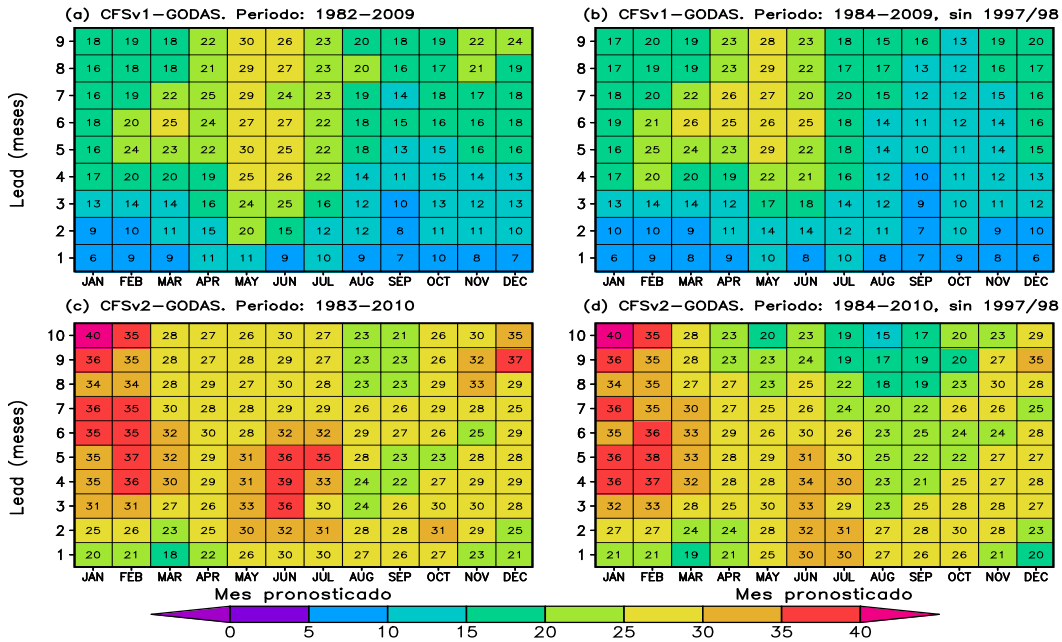


Figura 5.141: ERCM de las API15°C para la región Niño 1+2, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

ERCM de las API15C (Pronostico-Observado). Region Nino 3.4

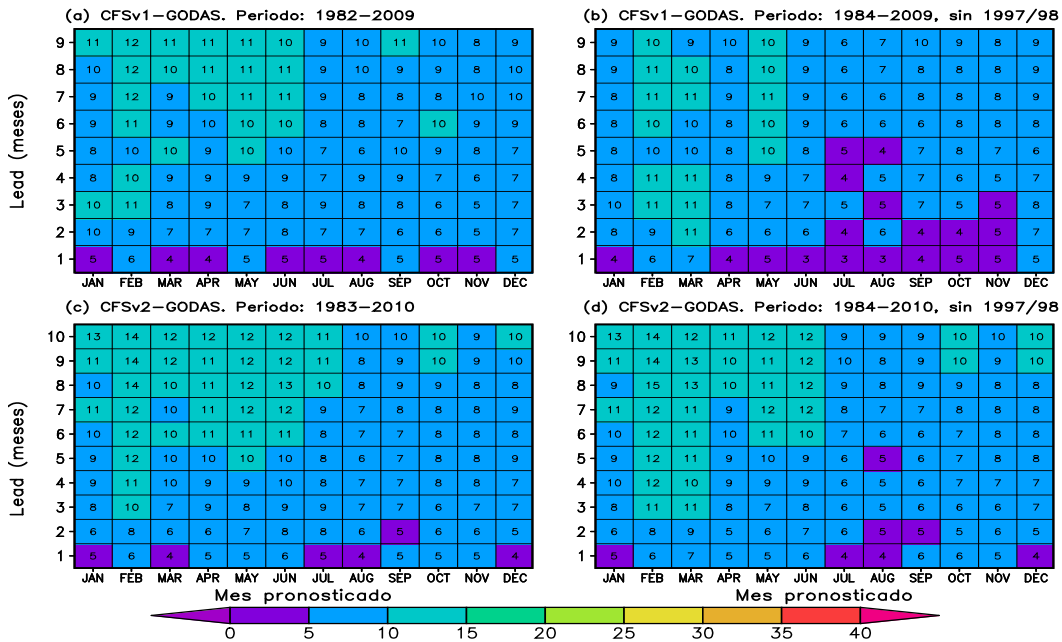


Figura 5.142: ERCM de API15°C para la región Niño 3.4, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

5.14. Coeficiente de correlación (CC) de API15°C pronosticada (CFS) y observada (GODAS) por periodos.

En la Figura 5.143a se observa los resultados del CC en la región Niño 1+2, para el periodo 1982-1990 del modelo CFSv1 y los datos de GODAS, nos muestra que los CC máximos se observa entre los meses de setiembre y febrero en los 9 leads con valores mayores a 0.7, los meses de marzo y abril muestran valores mayores a 5.6, los menores errores se observa entre los meses de mayo y julio después del lead 1, 2 y 3. La Figura 5.143c es el resultado del CC del modelo CFSv1 y los datos de GODAS para el periodo 1991-2000, muestra los máximos CC entre los meses de setiembre y abril en todos los leads, con CC mayores a 0.7; los menores CC son entre los meses de mayo y julio después del lead 4, sin embargo estos valores son mayores a los mínimos CC que se observa en la Figura 5.143a. La Figura 5.143e muestra el CC del modelo CFSv1 y GODAS para el periodo 2001-2009 con CC mayor a 0.61 entre los meses de diciembre y abril en los 9 leads, entre los meses de mayo y setiembre se observa CC negativas a partir de los leads 4, 5, 6, 7 y 9 respecto a los meses mencionados.

El CC del modelo CFSv2 y los datos de GODAS Figura 5.143b, para el periodo 1983-1990 se observa CC mayores a 0.69 para los meses de enero y febrero hasta el lead 10 y 9, entre los meses de marzo y mayo se observa coeficientes de correlación mayores a 0.63 hasta el lead 6, los CC entre junio y diciembre muestran los máximos en sus 3 primeros lead y sus correlaciones mínimas se observan en el mes de junio en el lead 3, las mínimas correlaciones disminuyen al incrementar los leads y al acercarse al mes de diciembre, además se observa CC negativos en los últimos leads. La Figura 5.143d muestra los resultados del CC del modelo CFSv2 y datos de GODAS para el periodo 1991-2000, en el cual se observa correlaciones mayores a 0.7 entre los meses de diciembre y marzo, los meses de abril y noviembre muestran correlaciones mayores a 0.62; para los meses entre mayo y octubre se observa correlaciones menores con CC mínimos a partir del lead 3, las mínimas correlaciones se observa en los meses entre junio y agosto para los leads 5, 6 y 7 respectivamente. En la Figura 5.143f

el CC del modelo CFSv2 y GODAS para el periodo 2001-2010, se observa buenas correlaciones mayores a 0.7 para los meses entre diciembre y marzo en los 4 primeros leads, en los leads siguientes la correlación se mantiene buena pero en menor valor, los meses entre abril y noviembre muestran correlaciones regulares hasta el lead 4 en promedio, se observa correlaciones negativas en el mes de junio en los 3 últimos leads.

Los resultados del CC del modelo CFSv2, muestra CC menores con respecto a la primera versión del CFS, las menores correlaciones se observan a partir del lead 3 del mes de junio la correlación disminuye al incrementar los leads hasta llegar al mes de diciembre, en el CFSv1 también se observa menores CC para los meses de mayo y junio a partir del lead 2 y 3: En el segundo periodo el modelo CFSv2 también muestra menores CC entre los meses de junio y agosto a partir del lead 4. En la última versión del modelo se observa los mínimos CC entre los meses de mayo y setiembre, en el CFSv1 los CC son menores con respecto al modelo CFSv2, se observan correlaciones negativas desde el lead 4 para el mes de mayo y en los últimos leads de los meses mencionados; en el modelo CFSv2 se observa CC negativos en el mes de junio a partir del lead 8, la última versión del CFS muestra mejores resultados que el modelo CFSv1.

En la región Niño 3.4 el CC entre los datos del modelo CFSv1 y datos de GODAS, para el periodo 1982-1990, Figura 5.144a, se observa los máximos CC entre los meses de octubre y diciembre mayores a 0.71 hasta el lead 5, para el mes de setiembre hasta el lead 4, entre los meses de julio y noviembre se observó entre los leads 4 y 9 en sucesión con respecto al mes se observa que las correlaciones mejoran para después descender; para los meses entre enero y mayo se observa CC menores después del lead 2, mostrando CC negativos en los últimos leads. El CC para CFSv1 y GODAS para el periodo 1991-2000, Figura 5.144c entre los meses de setiembre y noviembre se observa un índice de correlación máximo en todos los leads con valores superiores a 0.84, entre los meses de diciembre y agosto también se observa CC altos solo hasta el lead 5, a excepción del lead 2 y 3 para los meses de enero y junio; los mínimos valores se encuentran entre los meses de diciembre y julio después del lead 5. El CC del modelo CFSv1 y los datos de GODAS para el periodo 2001-2009 Figura 5.144e, los máximos valores de las correlaciones se observan entre los meses de

setiembre y noviembre con valores mayores a 0.66 hasta el lead 7, para el mes de diciembre hasta el lead 6 mostrando el máximo valor es 0.62, se observa mínimos valores entre los meses enero y junio después del lead 3, se observa correlaciones negativas en el lead 5 para marzo y junio, en el lead 6 para junio y julio, para julio y abril en los leads 7 y 9. El CC del modelo CFSv2 y GODAS en el periodo 1983-1990 Figura 5.144b, se observa correlaciones máximas entre los meses de agosto y noviembre con correlaciones mayores a 0.63 en los 10 leads, el mes de enero muestra alto índice de correlación hasta el lead 6 con correlaciones superiores a 0.74, el mes de febrero los dos primeros leads muestran buena correlación pero descienden en el tercer lead, posteriormente sus correlaciones mejoran, en el mes de marzo se observa buenas correlaciones en todos sus leads, el mes de mayo tiene las menores correlaciones a partir del lead 3 donde las correlaciones menores a 0.41. El mismo modelo para el periodo 1991-2000 (Figura 144d) se observa los máximos CC entre los meses de agosto y noviembre con CC superior a 0.65 en los diez leads, el mes de julio se observa correlación mayor a 0.60 hasta el lead 7, las mínimas correlaciones se encuentran entre los meses de enero y mayo después del lead 4, en el mes de junio después del lead 5, en el mes de febrero se observa correlaciones negativas en el lead 9 y 10 para febrero y lead 10 para marzo. Las correlaciones para el periodo 2001-2010 (Figura 5.144f) disminuyen comparadas con los periodos anteriores, las máximas correlaciones se dan en los meses entre octubre y diciembre con correlaciones mayores a 0.57, las correlaciones mínimas se encuentran entre los meses de abril y julio, en el mes de junio en el lead 3 se observa un valor de correlación negativo, los meses de abril y mayo a partir del lead 6 y 7 también se observa correlaciones negativas, además siendo de mayor valor. El CC para el primer periodo, se observa los mejores resultados entre los meses de julio y diciembre para ambas versiones del CFS; en cuanto a los mejores resultados el CFSv2 muestra mejores resultados, ya que sus mínimos CC son para el mes de mayo con correlaciones mayores que 0.4, mientras que la primera versión se observa correlaciones negativas en los últimos leads de los meses mencionados. En el segundo periodo se observa los CC mayores entre los meses de julio y diciembre, en general en este periodo se tiene los mejores CC de correlación. Para el último periodo los mayores CC se encuentran en la primera versión del modelo, no obstante se observa CC negativo en ambas versiones del modelo, siendo el modelo CFSv2 quien tiene más CC negativos.

CC de las API15 (Pronostico-Observado). Region Nino 1+2

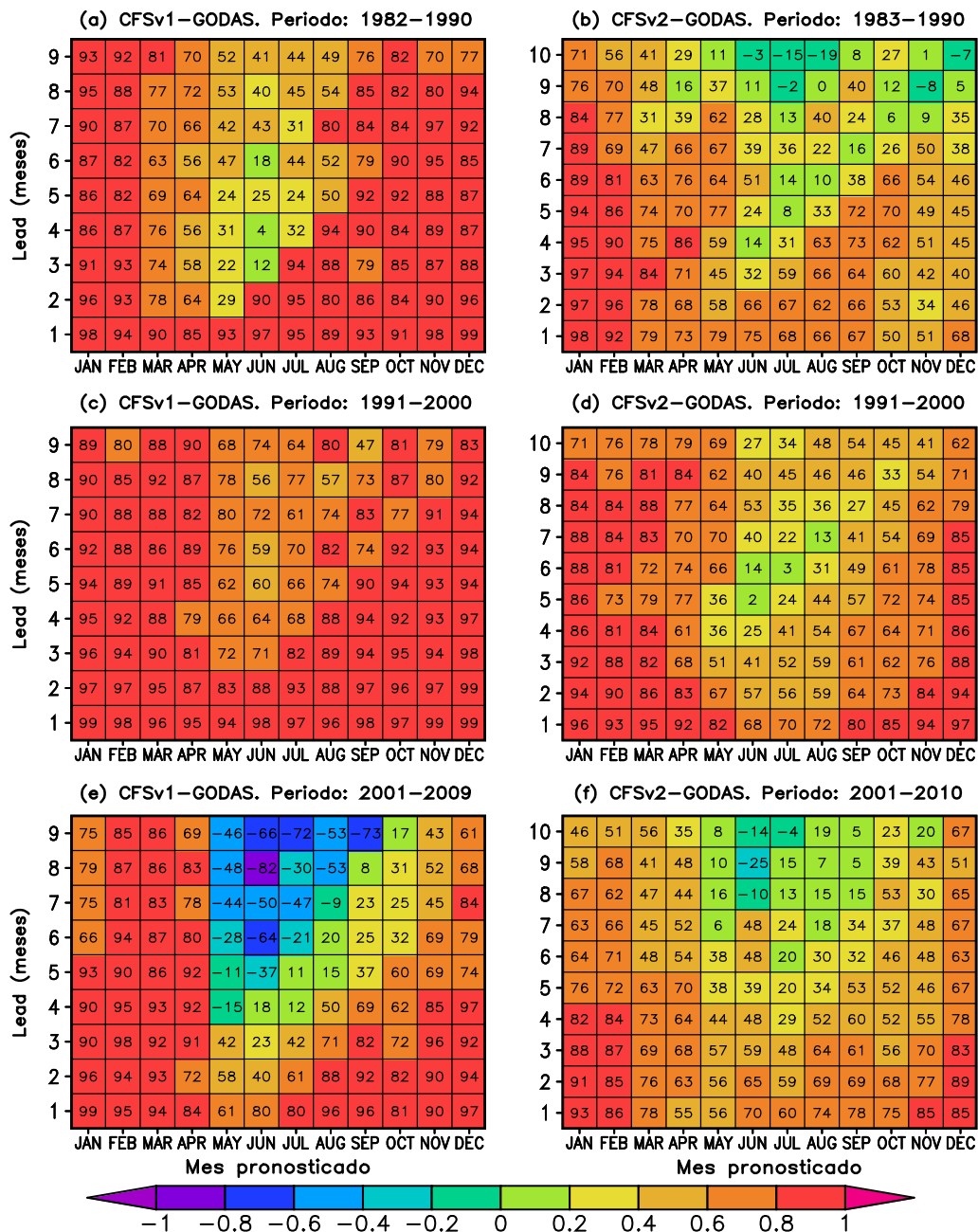


Figura 5.143: CC de las anomalías de PI15°C para la región Niño 1+2, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.

CC de las API15 (Pronostico–Observado). Region Nino 3.4

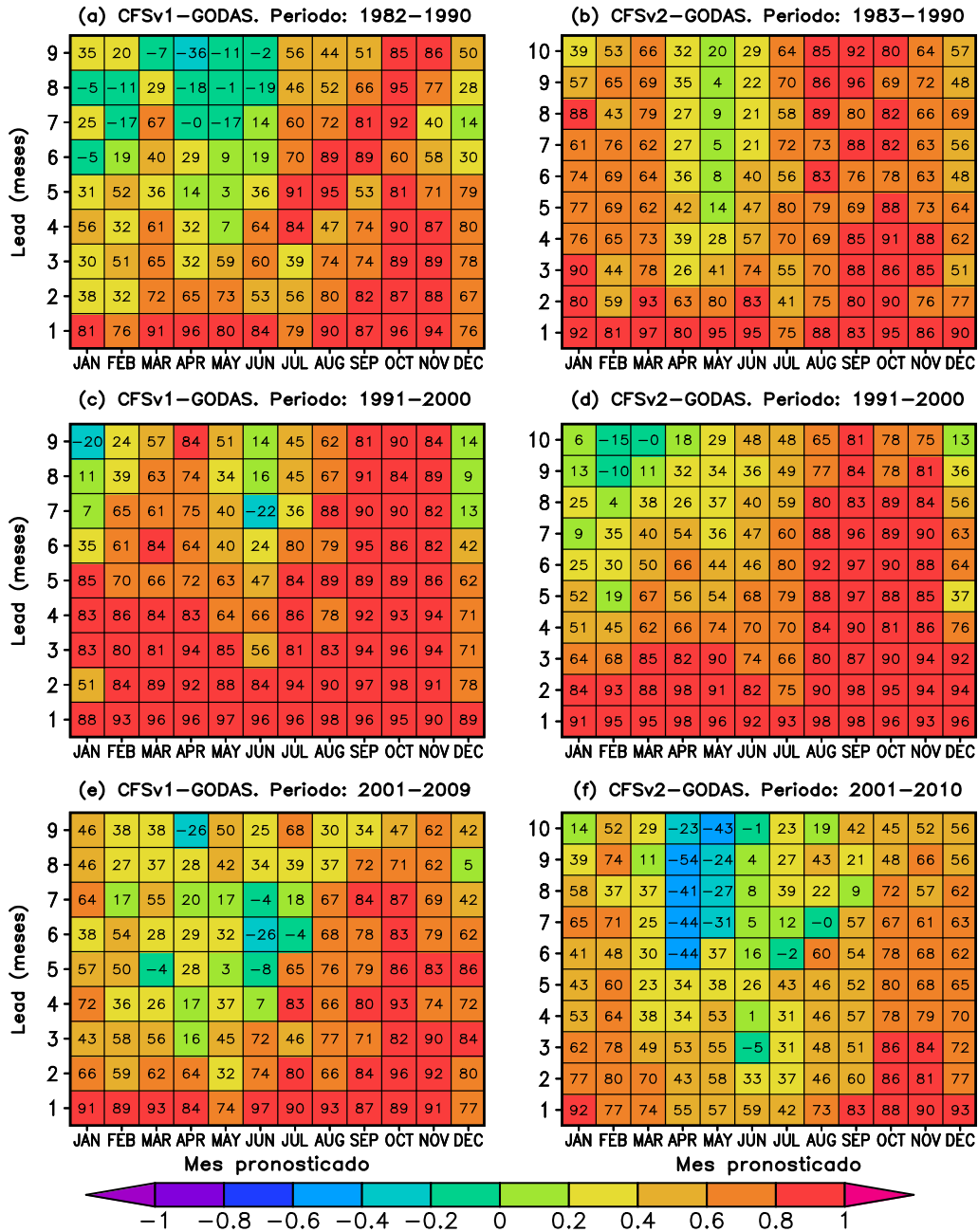


Figura 5.144: CC de las anomalías de PI15°C para la región Niño 3.4, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-GODAS para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-GODAS para el periodo 2001-2010.

5.15. Error de raíz cuadrada media (ERCM) de API15°C pronosticada (CFS) y observada (GODAS) por periodos

El ERCM para el periodo 1982-1990 (Figura 5.145a) del modelo CFSv1 y los datos de GODAS, muestra que los menores errores se encuentran entre los meses de agosto y enero; por otro lado los errores máximos se observan en el mes de mayo, en el lead 2 ya que muestra el RMSE de 28 m, y en el mes de junio 32 m; los errores se incrementan al incrementar los leads. Con la misma fuente de datos de la figura anterior, para el periodo 1991-2000 (Figura 5.145c), las menores correlaciones se observan entre los meses de enero y abril con RMSE menor a 20 m para los 9 leads, para los meses entre agosto y diciembre hasta el lead 5, los leads siguientes se observan valores mayores a 20 m; también se observan valores mayores a 21 m para los meses de mayo y junio después del lead 2 y para julio a partir del lead 4. El ERCM del modelo CFSv1 y GODAS para el periodo 2001-2009 (Figura 5.145e) se observan correlaciones menores entre los meses de julio y febrero con RMSE menores a 20 m en los 9 leads, y entre marzo y junio hasta el lead 4, en los leads siguientes se observan correlaciones mayores a 2 m. Para el modelo CFSv2 y datos de GODAS en el periodo 1983-1990 (Figura 5.145b), se observan correlaciones mínimas entre los meses de setiembre y marzo con valores menores a 17 m hasta el lead 6, los máximos errores se observan entre los meses de abril y julio con valores mayores a 21 m a partir del lead 2 y en julio a partir del lead 3. En el periodo 1991-2000, Figura 5.145d, los errores menores se observan entre los meses de enero y marzo hasta el lead 8 con un error máximo de 23 m, los errores máximos se observan entre abril y diciembre, en algunos meses desde el lead 2 se observan errores superiores a 25 m. En el último periodo 2001-2010 figura (5.145f) se observa que los menores RMSE se encuentran entre los meses de febrero y mayo con un error máximo de 0.20m, los 3 primeros lead de enero muestran errores menores, los meses entre junio y octubre se observan los menores errores después del lead 3, 6 y 7, en los lead anteriores sus errores son mayores, los meses de noviembre y diciembre muestran errores máximos después del lead 3. De forma general se observa que los mayores errores se observan para el CFSv2, en el caso del primer periodo se observan los máximos ERCM para los meses

entre marzo y junio, a partir del segundo y tercer lead, mientras que para la otra versión en los últimos leads se observa que en la mayoría de los meses el error es superior a CFSv1. En el segundo periodo en el modelo CFSv1 se ve los máximos errores de manera dispersa entre los meses de mayo y diciembre para todos los leads, para el CFSv2 se observa que los errores son mayores a CFSv1 en la mayoría de los leads, siendo más notable entre los meses de abril y diciembre. En el tercer periodo en el CFSv2 se observa que los errores son mayores al CFSv1 entre los meses de julio y enero, en lo demás meses algunos leads son superiores en cada versión del CFS.

En la región Niño 3.4 el ERCM del modelo CFSv1 y los datos observados de GODAS se observa que sus máximos errores en el periodo 1982-1990 (Figura 5.146a) se observa en los primeros leads entre los meses de febrero y junio con valores mayores a 10 m, entre agosto y noviembre se observa errores mayores en los leads finales. Para el periodo 1991-2000 (Figura 5.146c) se observa que los máximos errores se encuentran en los meses de febrero y entre mayo y agosto con RMSE mayores a 10 m desde el lead 2. En el periodo 2001-2009 (Figura 5.146e) se observa mejores resultados, solo se observa valores mayores a 10m en los meses de febrero y marzo y en el lead 3 del mes de enero. El modelo CFSv2 y GODAS para el periodo 1983-1990 (Figura 5.146b), se observa los errores mayores a 10 m a partir del lead 2 para los meses de abril y mayo, en el mes de febrero se observa en el lead 3, y después del lead 6 del mes de junio. Para el periodo 1991-2000 (Figura 5.146d) se observa los RMSE máximos entre los meses de enero y julio con errores iguales o mayores a 0.10 m a partir de los leads 3 y 4. En el periodo 2001-2010 (figura 5.146f) el error mayor o igual a 0.10m a partir del lead 3 del mes de setiembre, también se observa mayores errores a partir del lead 4 de los meses de julio y agosto. El ERCM para las dos versiones del modelo y las condiciones observadas muestran una gran variabilidad en sus resultados, el modelo CFSv2 tiene los menores errores para los dos primeros periodos, mientras que para el tercer periodo el modelo CFSv1 muestra menores errores.

ERCM de las API15 (Pronostico-Observado). Region Niño 1+2

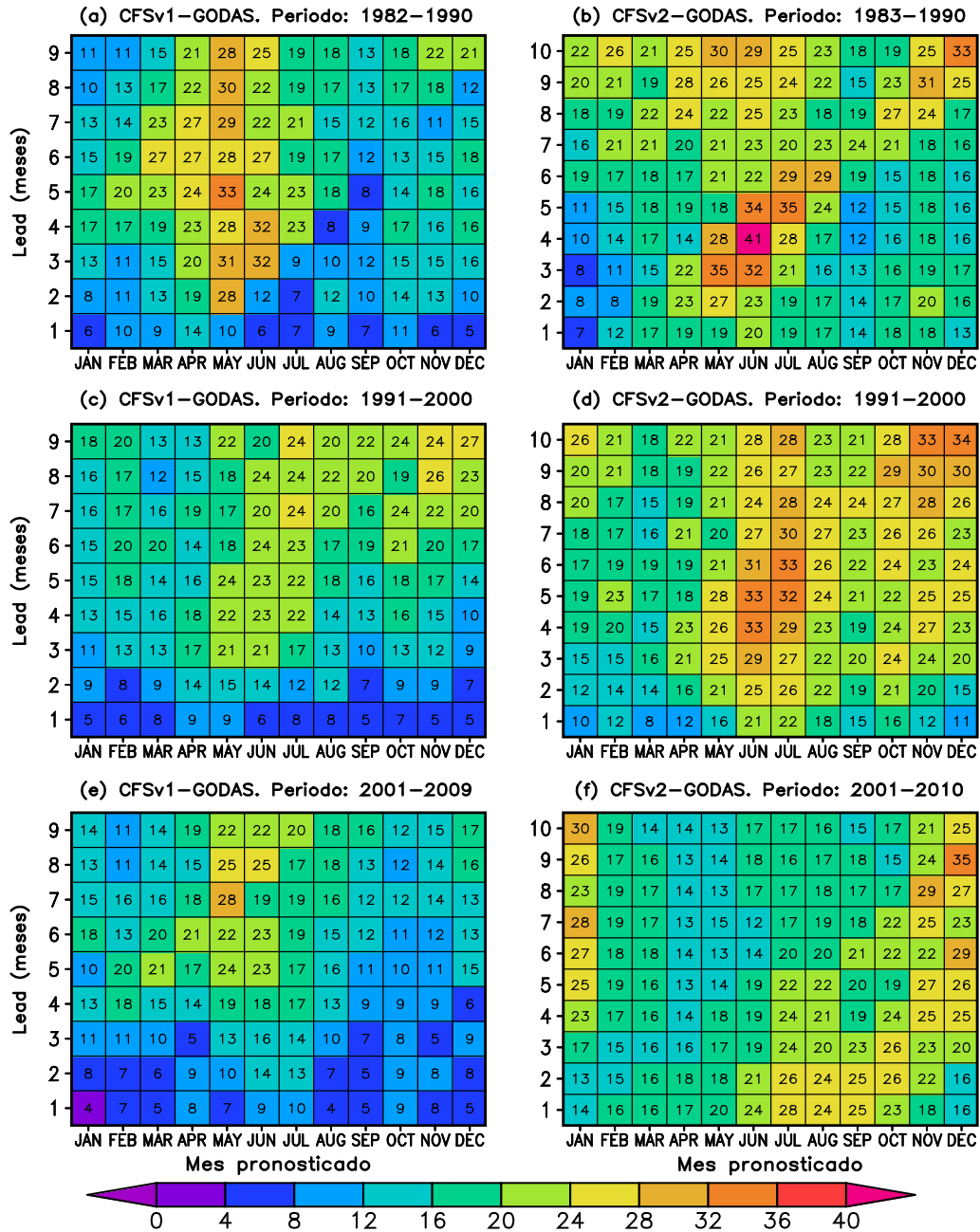


Figura 5.145: ERCM las anomalías de PI15°C para la región Niño 1+2, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.

ERCM de las API15 (Pronostico-Observado). Region Niño 3.4

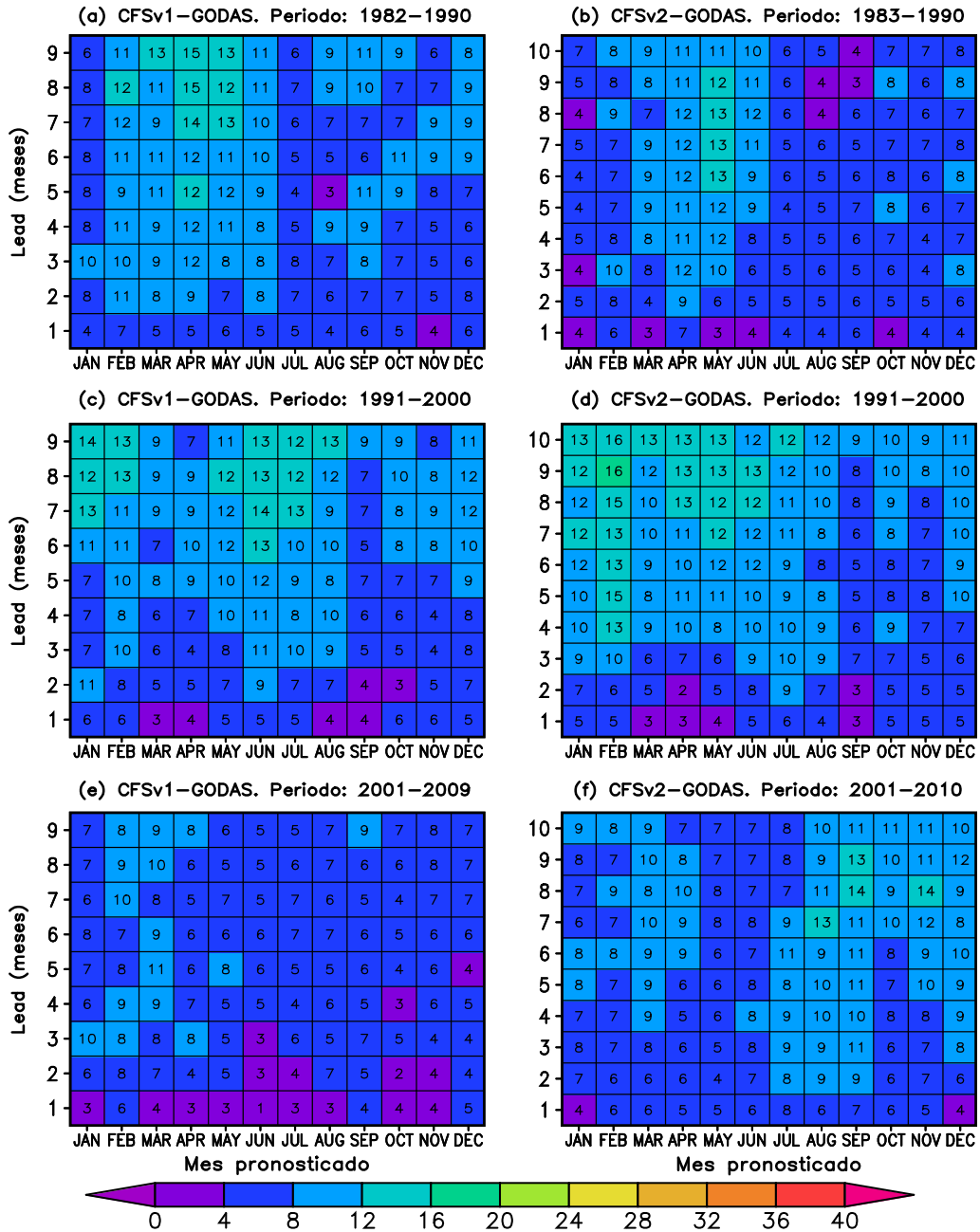


Figura 5.146: ERCM las anomalías de PI15°C para la región Niño 3.4, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-GODAS para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-GODAS para el periodo 2001-2010.

5.16. Análisis de series de tiempo con datos de pronóstico de (CFS) y datos de observados de CCO en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4.

Se analizó las series de tiempo para las dos versiones del modelo CFS para las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4 con la variable de Anomalía de Contenido de Calor en el Océano (ACCO) y se realizó la diferencia de la anomalía pronosticada y observada. En el modelo CFSv1 para el periodo 1982-2010 en el lead 1 (Figura 5.147), se observa diferencias pequeñas. En los siguientes leads se observa que las diferencias se incrementan; para los eventos Niños extraordinarios se observa que el modelo subestima las condiciones observadas a partir del lead 2 hasta el lead 9 (Figuras 5.148-5.155), siendo mayor la diferencia (línea celeste) en la parte inicial de los eventos Niño observándose después del lead 4. Las condiciones frías de los años 2000 y 2008 el modelo sobrestima las condiciones, se observa diferencias positivas. En el CFSv2 las anomalías de los leads (Figuras 5.156-5.165) subestiman los datos observados desde el año 1983 hasta los primeros meses de 1999, en los siguientes meses se observa una sobrestimación hasta el año 2010. En cuanto a los eventos Niños extraordinarios, las series muestran nuevamente que los modelos subestiman las condiciones observadas, siendo mayor la subestimación a mayor lead.

Las anomalías de CCO en la región Niño 3.4 se observa los 2 niños extraordinarios (1982-1983 y 1997-1998) como en la región Niño1+2, también es notable las anomalías de los Niños 1986-1987-1988, 1991-1992, 2002-2003, 2004-20005 en los cuales sus anomalías son superiores a las de la región Niño 1+2, del mismo modo para las anomalías negativas que se observa en los años 1983-1984, 1988-1989, 1998-1999. En el modelo CFSv1 (Figuras 5.166-5.174), se observa que los leads sobrestiman las condiciones de los eventos Niños 1982-1983 y 1987-1988, en los siguientes eventos Niño el modelo subestima las anomalías positivas, se reafirma al ver las diferencias (serie de color celeste), para los evento Niña, el modelo demora en mostrar las anomalías negativas, a mayor lead el modelo más tarda en mostrar las anomalías negativas. En la series de tiempo de las anomalías de CCO para la región Niño 3.4 del modelo CFSv2

(Figuras 5.175-5.184), con los datos observados, donde los pronósticos subestiman la parte final del evento Niño de 1983, al igual que en los siguientes eventos Niño, se observa que el error es sustancial para el evento de 1992. En cuanto a los evento Niña se observa que las diferencia (línea celeste) es menor hasta el lead 3, en los leads siguientes el modelo sobrestima las condiciones observadas.

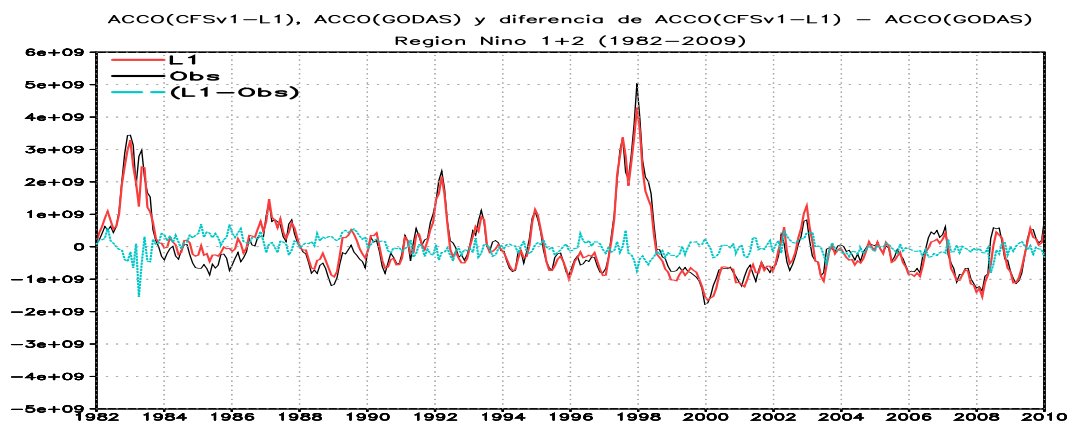


Figura 5.147: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

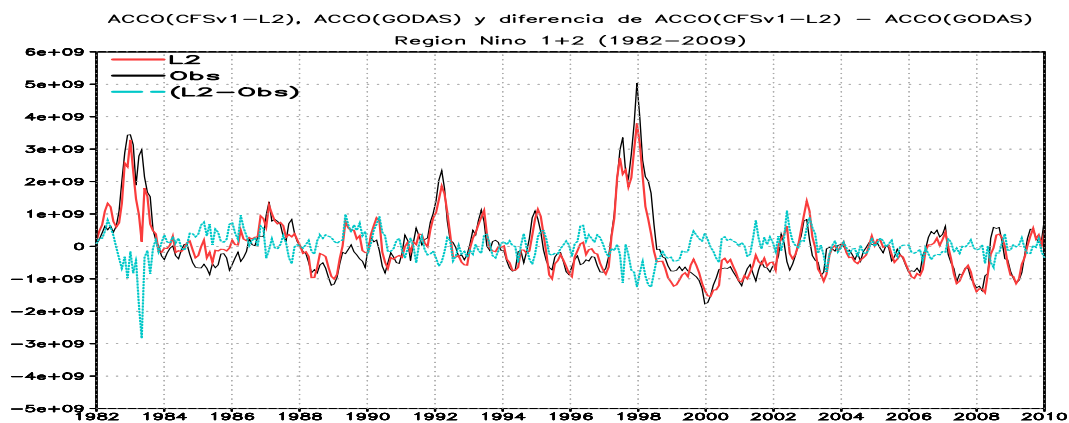


Figura 5.148: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

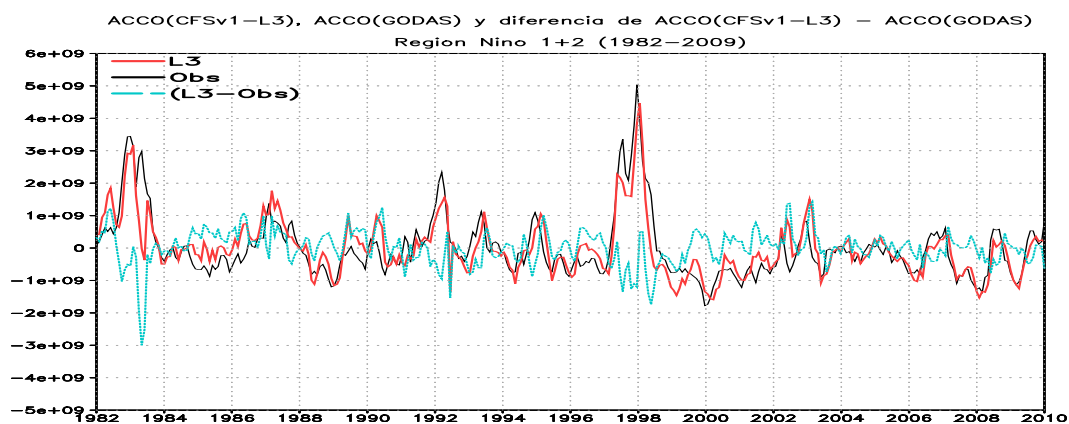


Figura 5.149: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

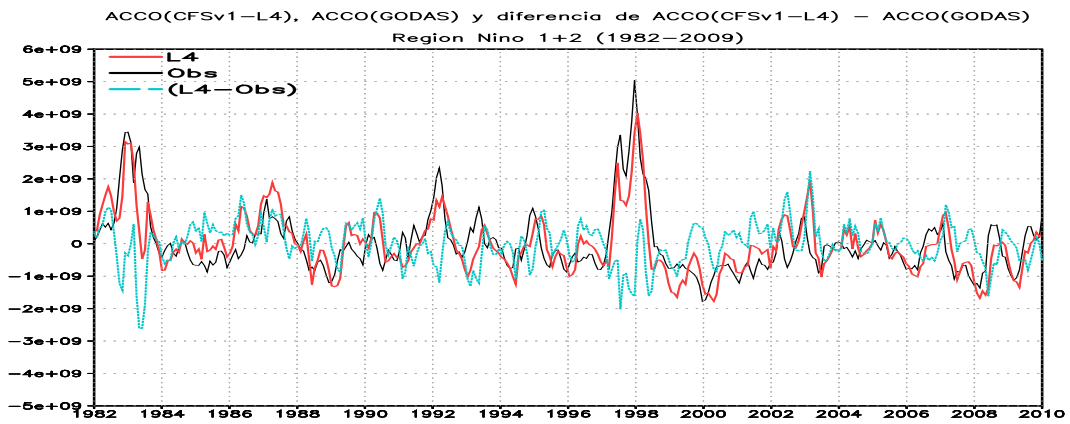


Figura 5.150: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

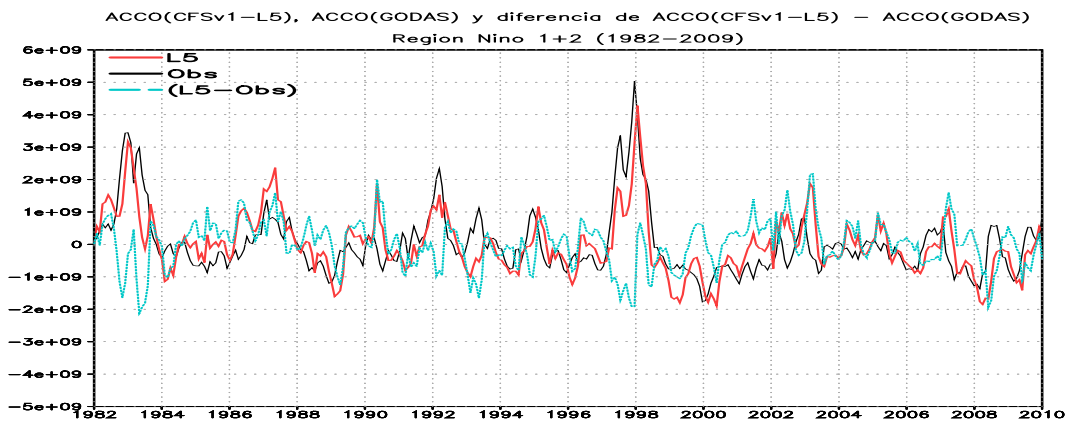


Figura 5.151: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

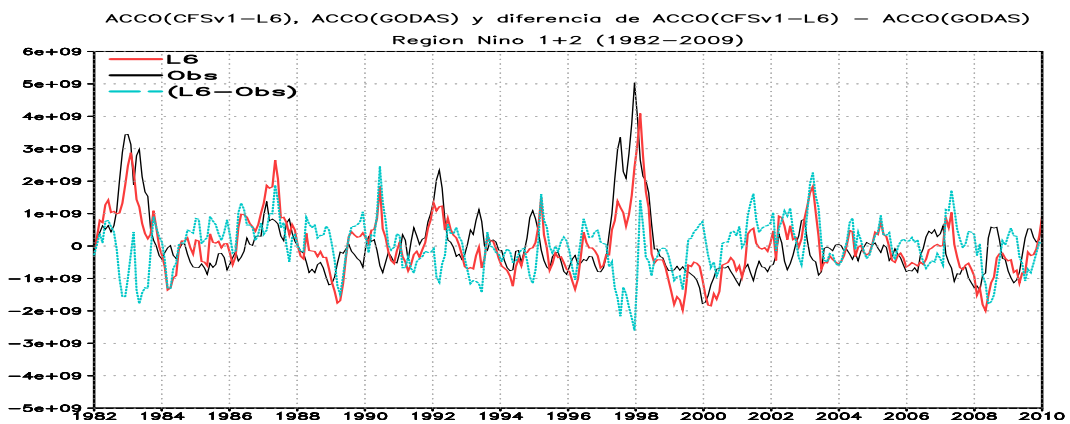


Figura 5.152: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

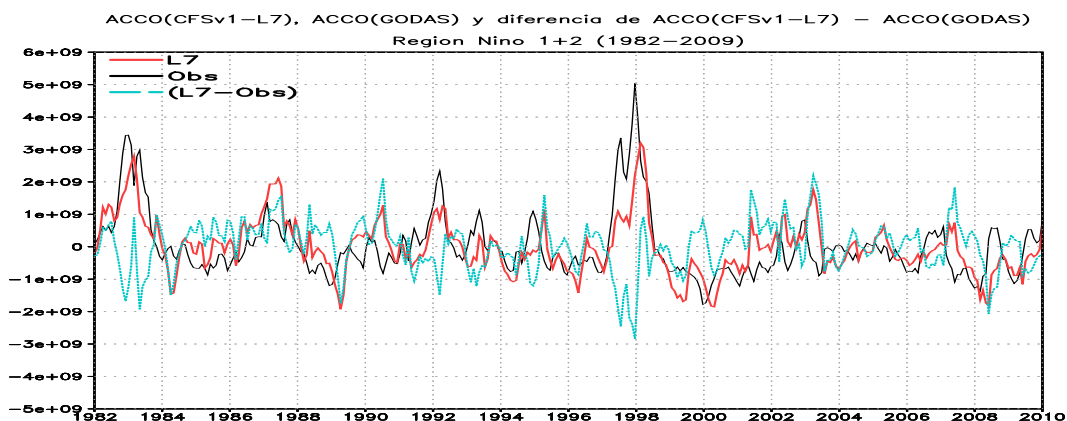


Figura 5.153: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

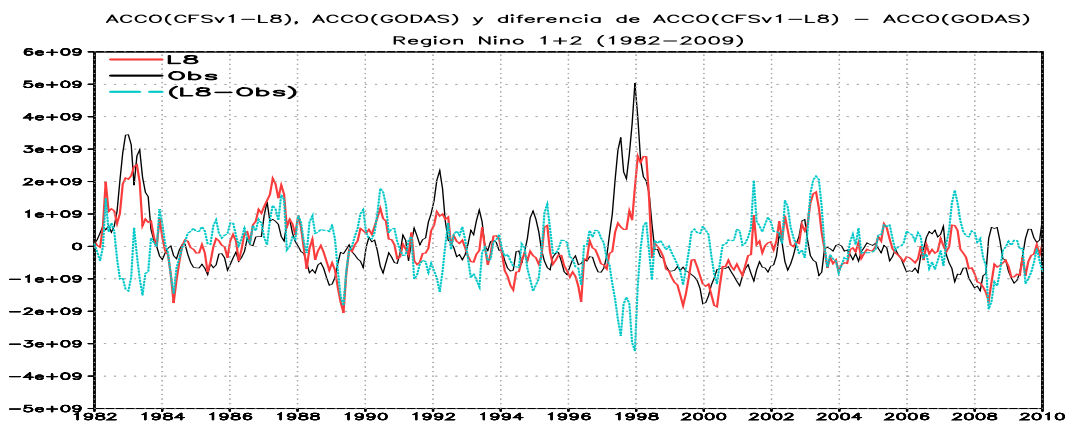


Figura 5.154: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

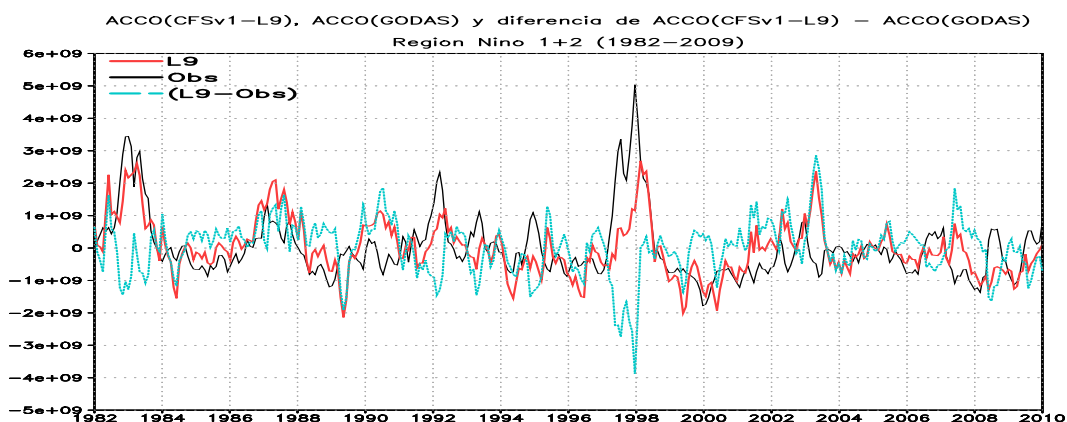


Figura 5.155: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1982-2009)

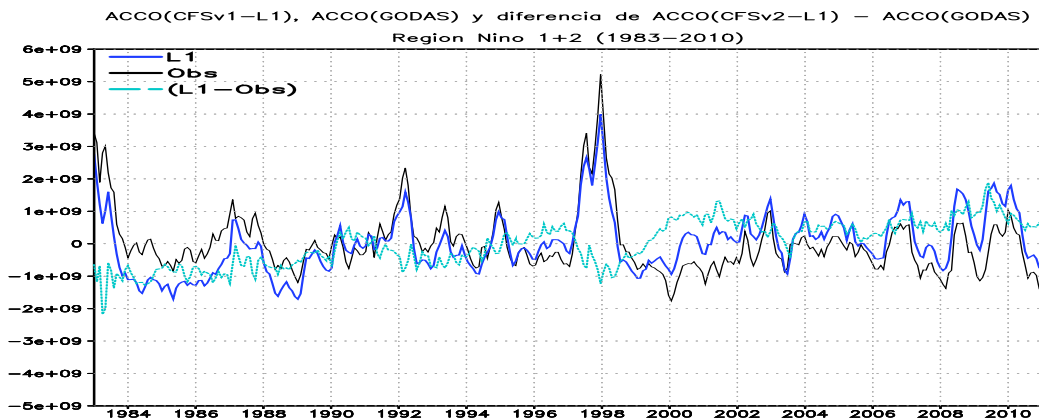


Figura 5.156: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L1 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

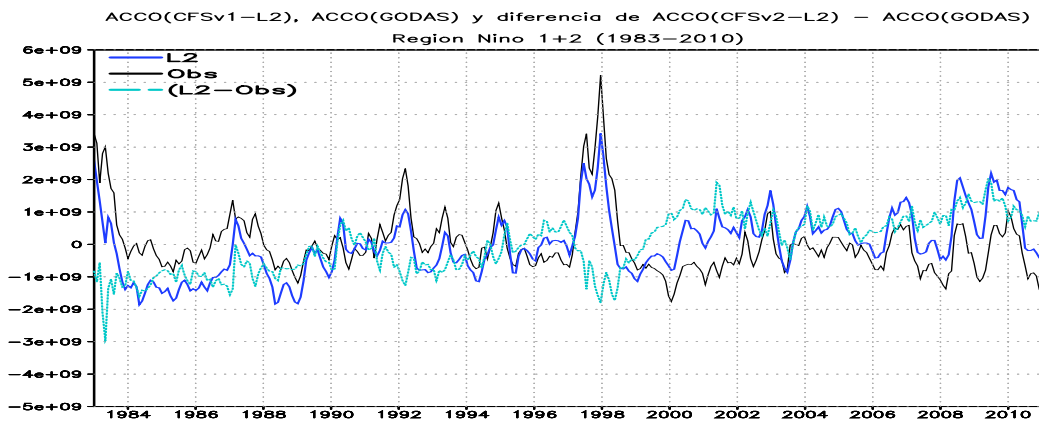


Figura 5.157: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L2 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

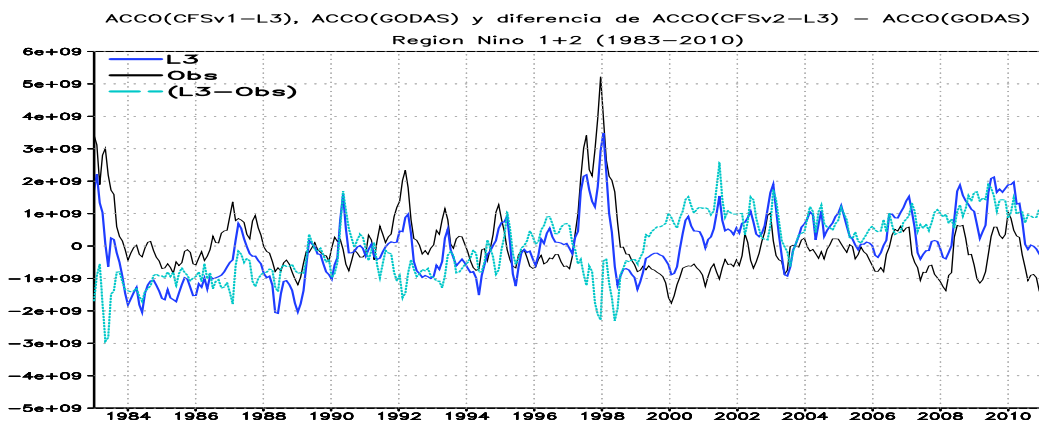


Figura 5.158: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L3 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

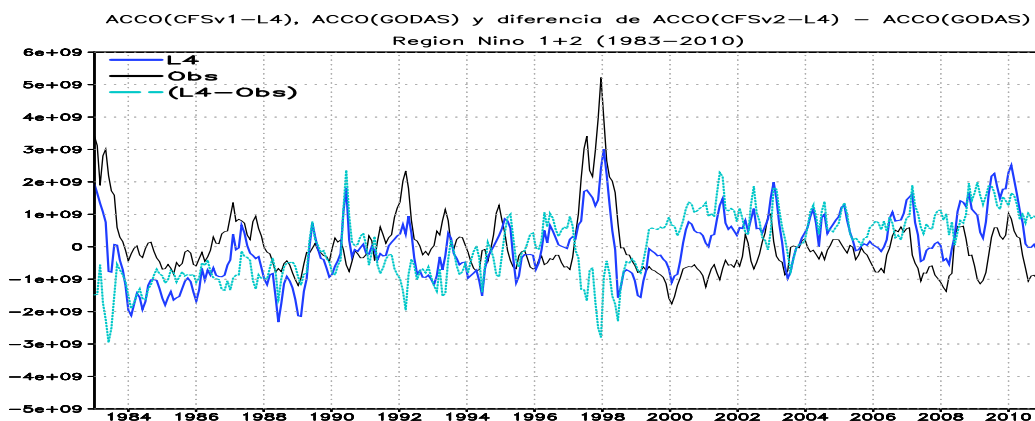


Figura 5.159: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L4 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

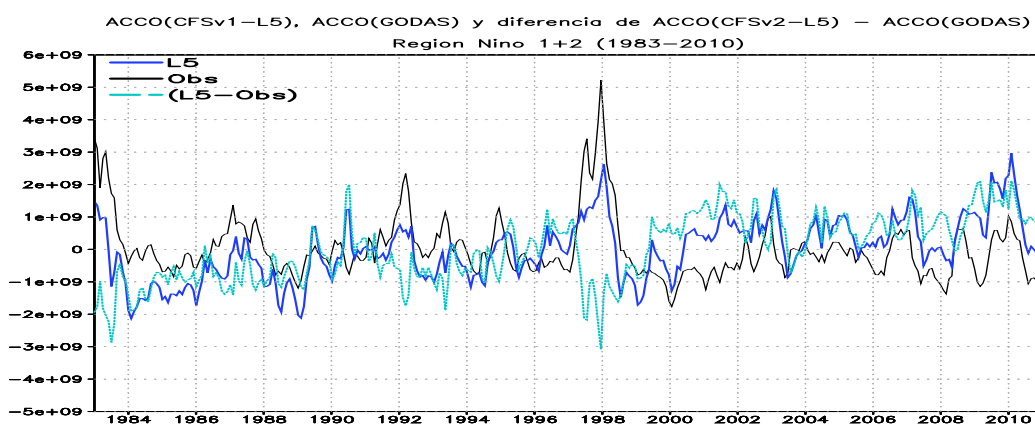


Figura 5.160: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L5 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

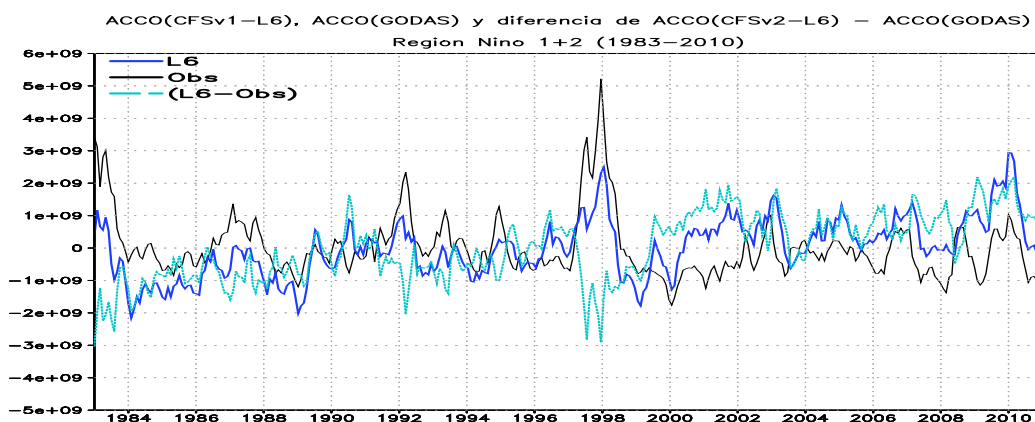


Figura 5.161: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L6 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

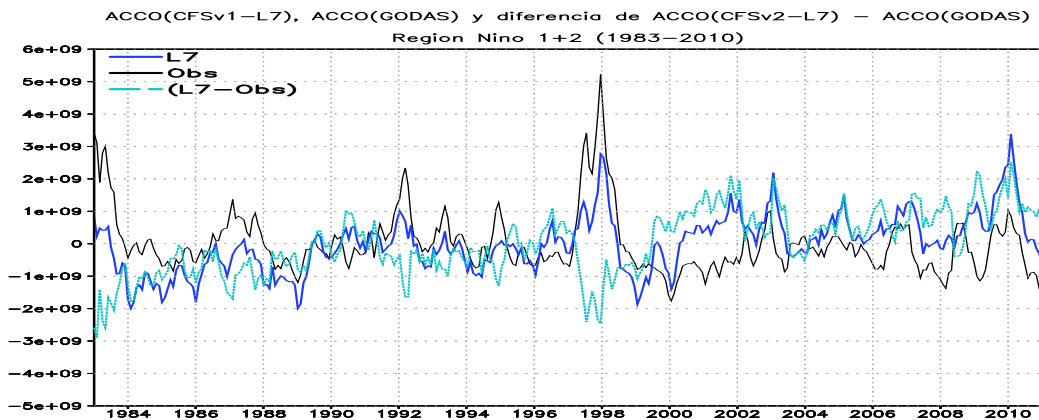


Figura 5.162: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L7 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

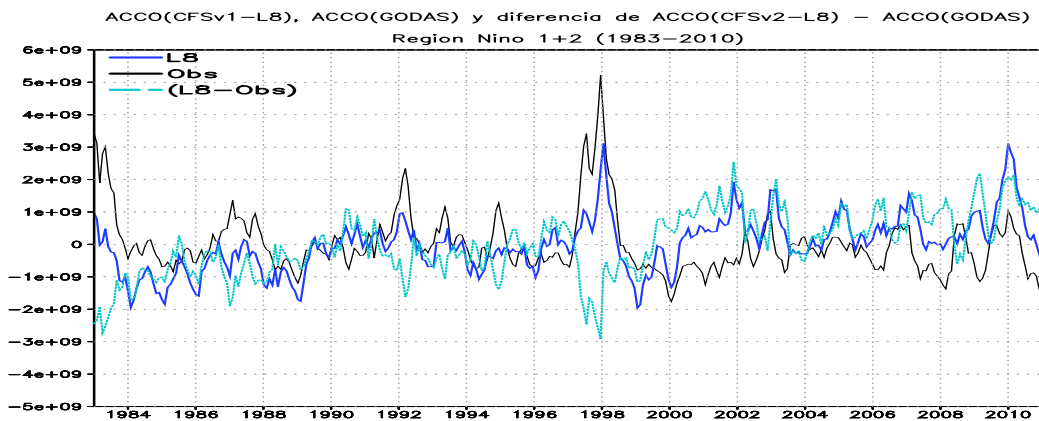


Figura 5.163: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L8 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2+ (1983-2010)

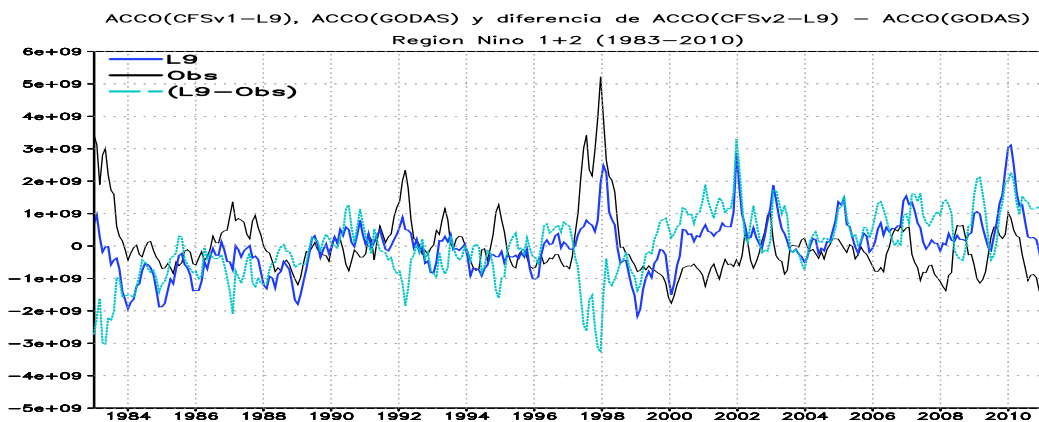


Figura 5.164: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L9 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

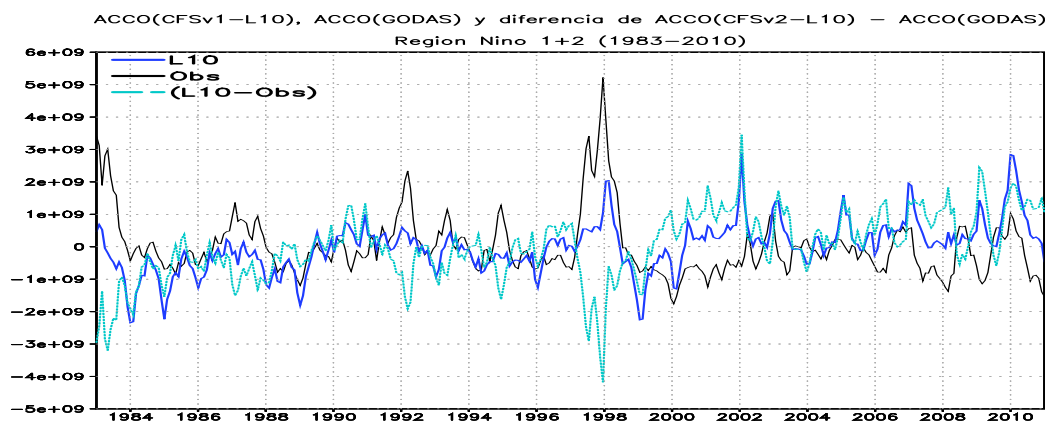


Figura 5.165: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L10 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 1+2 (1983-2010)

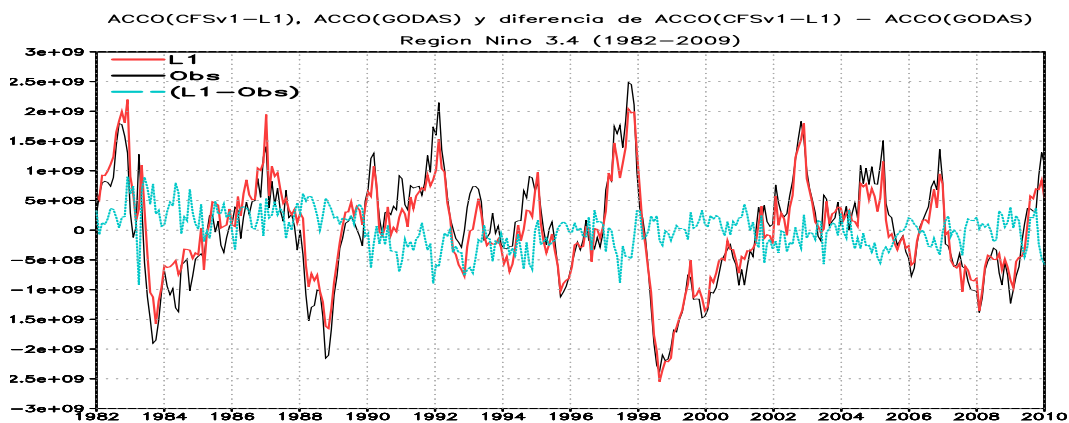


Figura 5.166: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L1 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

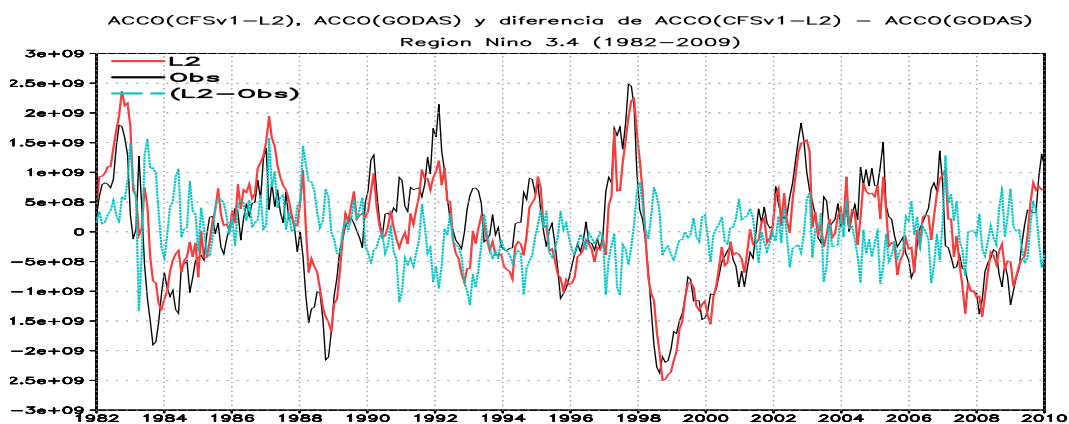


Figura 5.167: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L2 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

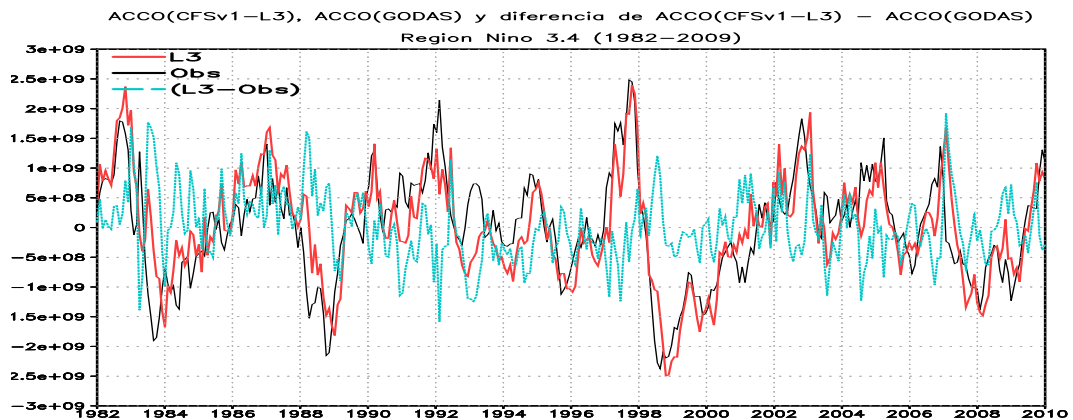


Figura 5.168: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L3 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

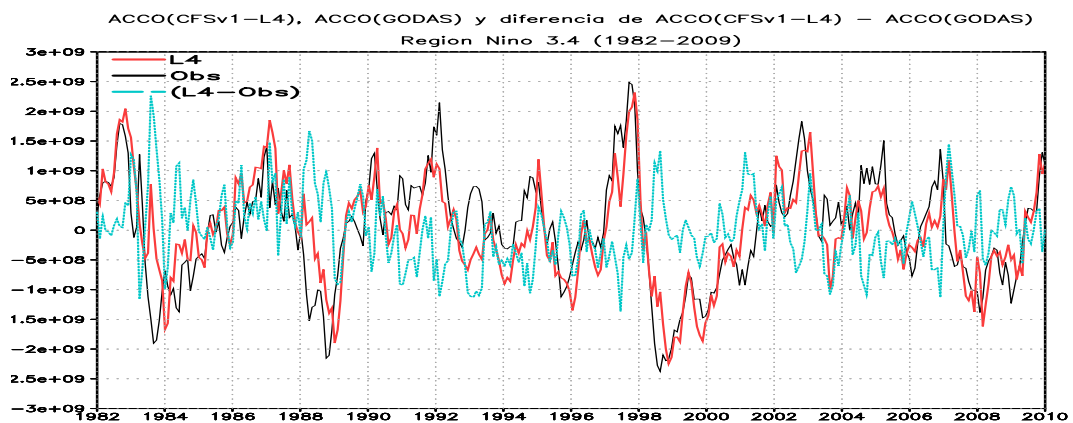


Figura 5.169: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L4 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

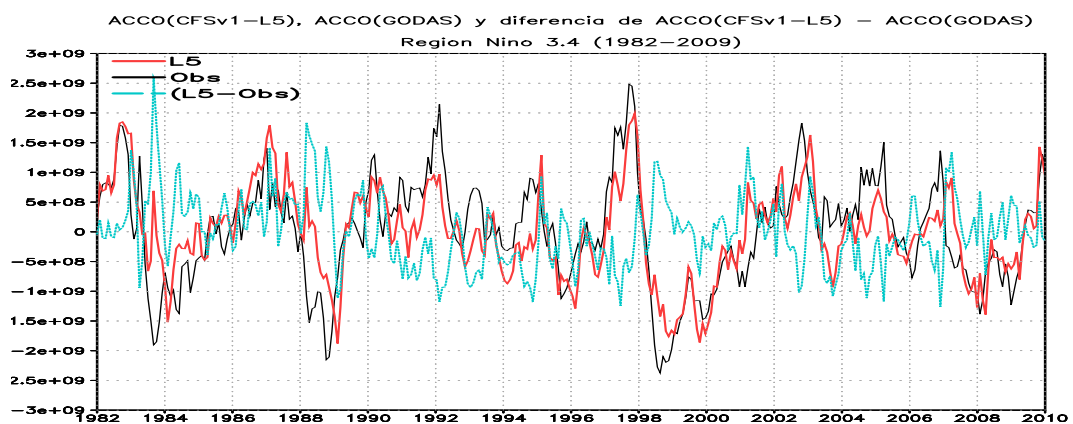


Figura 5.170: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L5 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

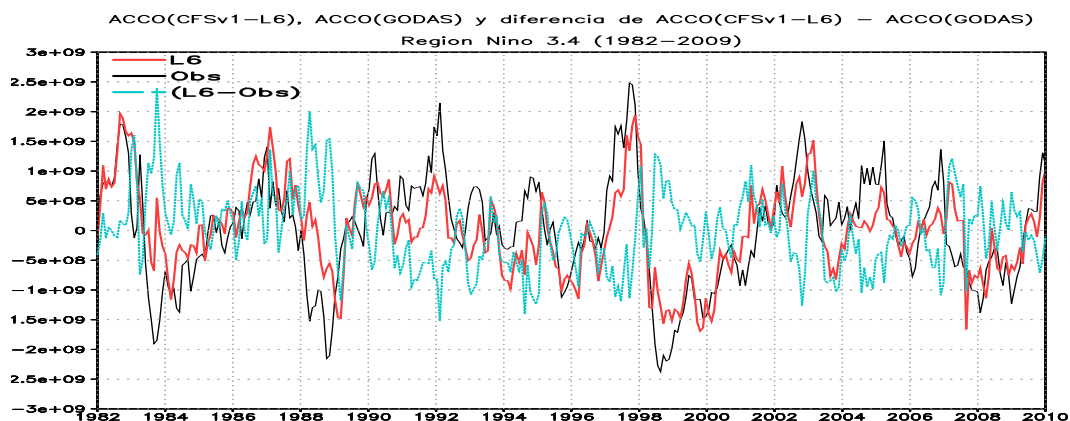


Figura 5.171: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L6 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

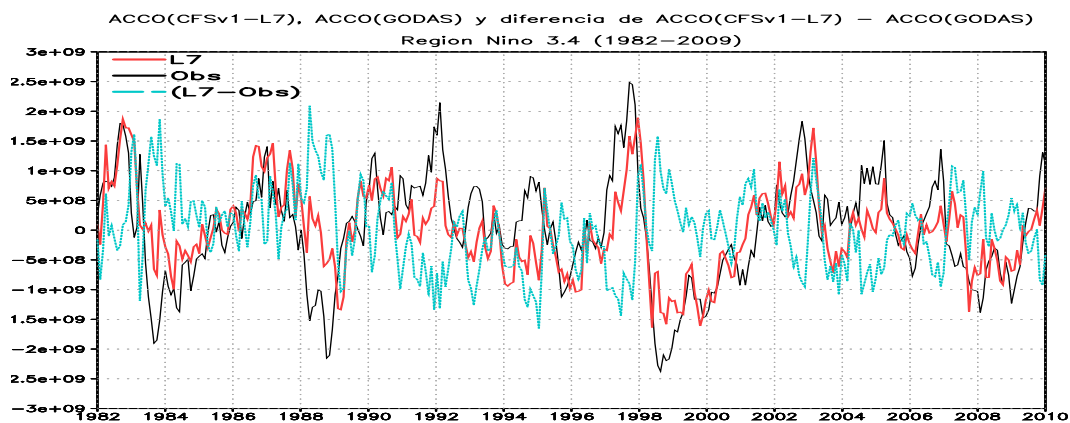


Figura 5.172: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L7 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

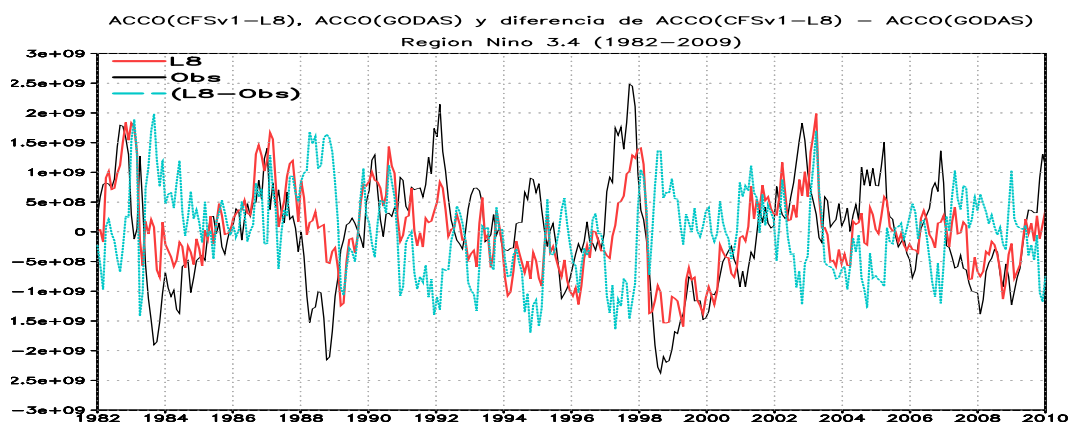


Figura 5.173: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L8 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

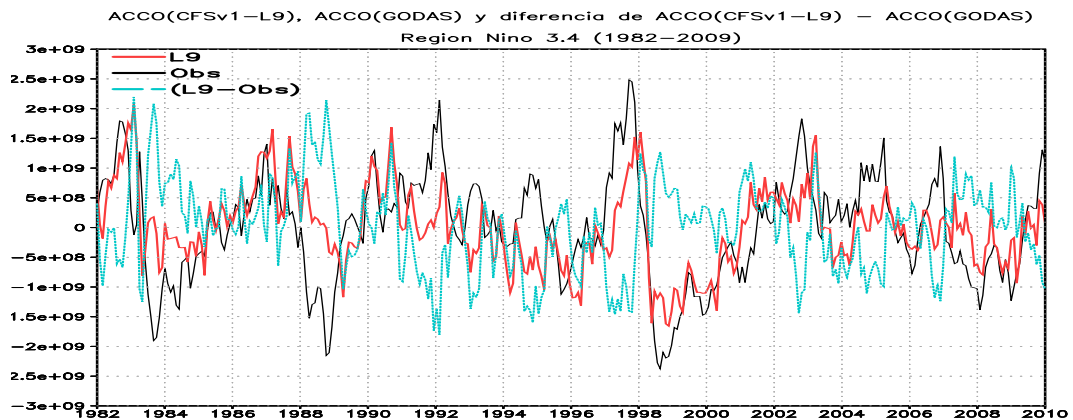


Figura 5.174: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L9 (rojo), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1982-2009)

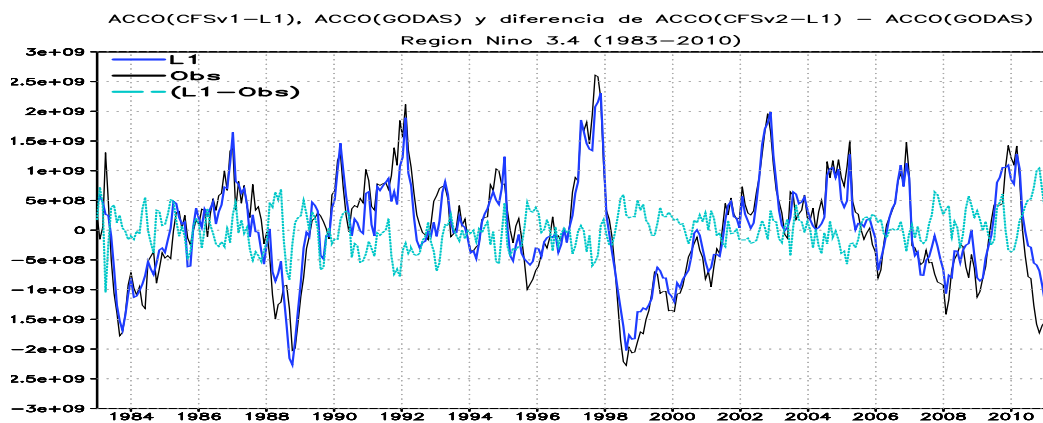


Figura 5.175: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L1 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

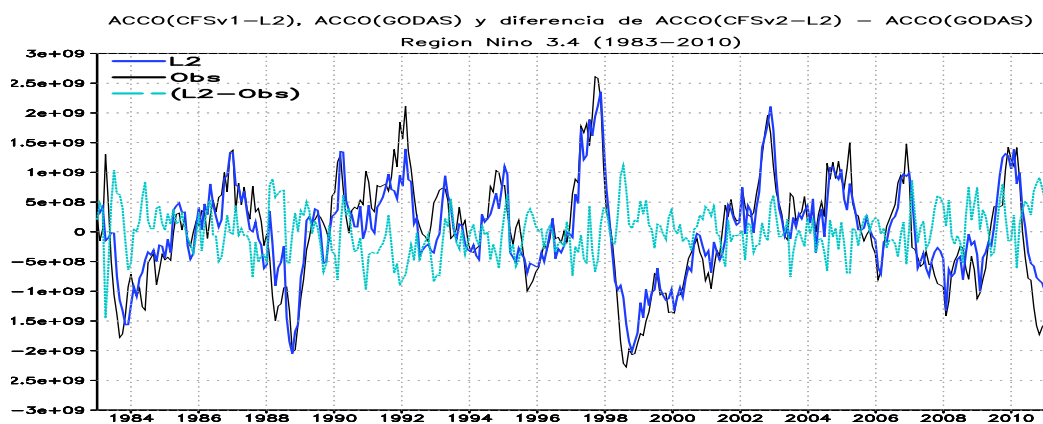


Figura 5.176: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L2 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

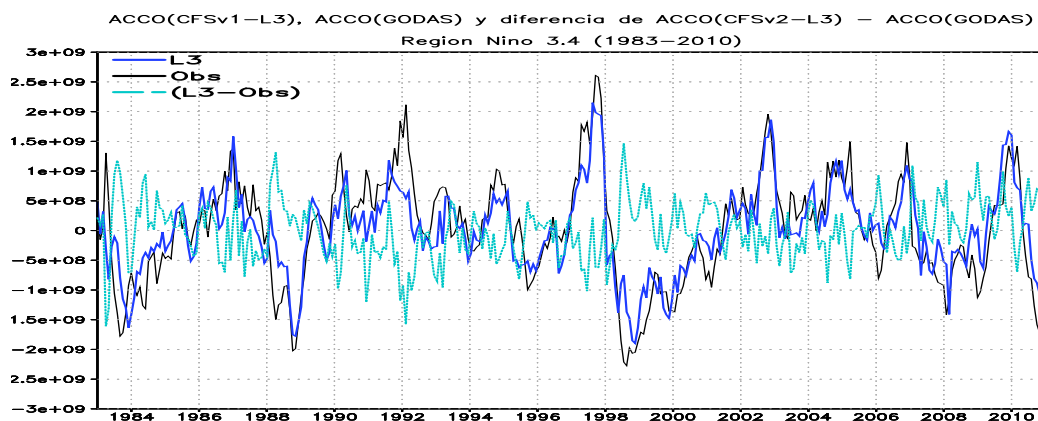


Figura 5.177: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L3 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

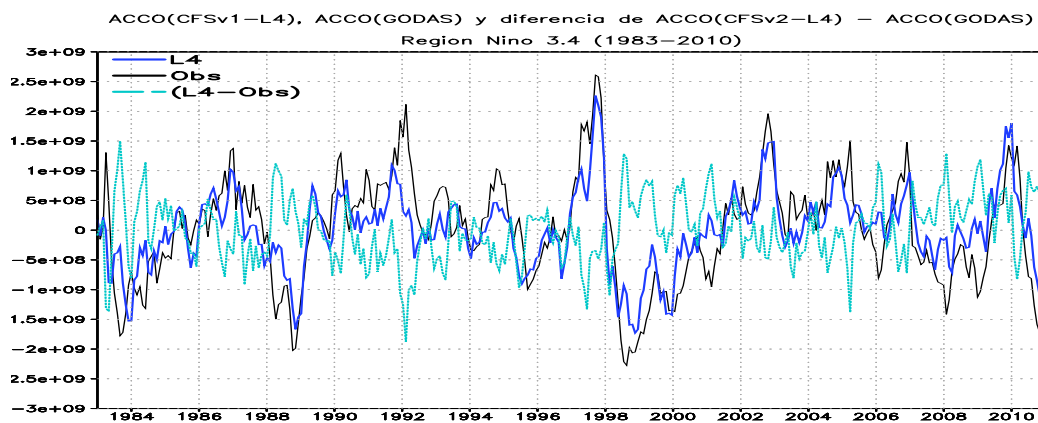


Figura 5.178: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L4 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

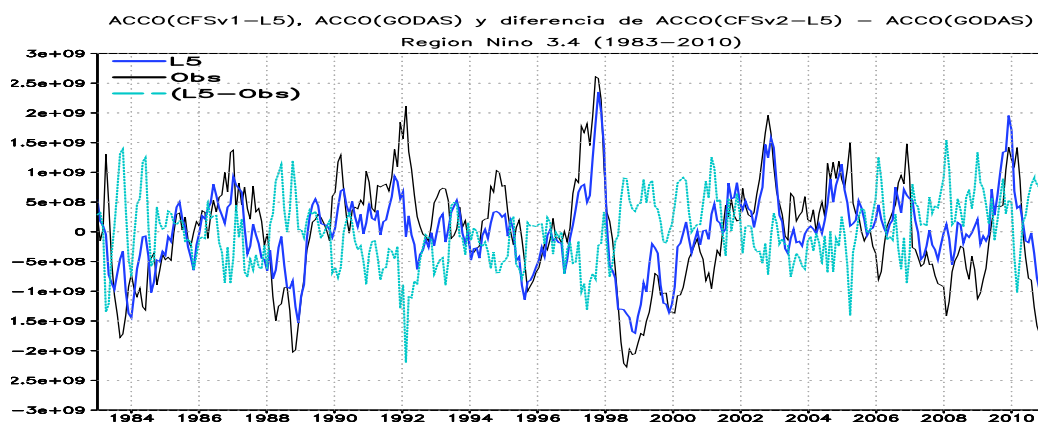


Figura 5.179: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L5 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

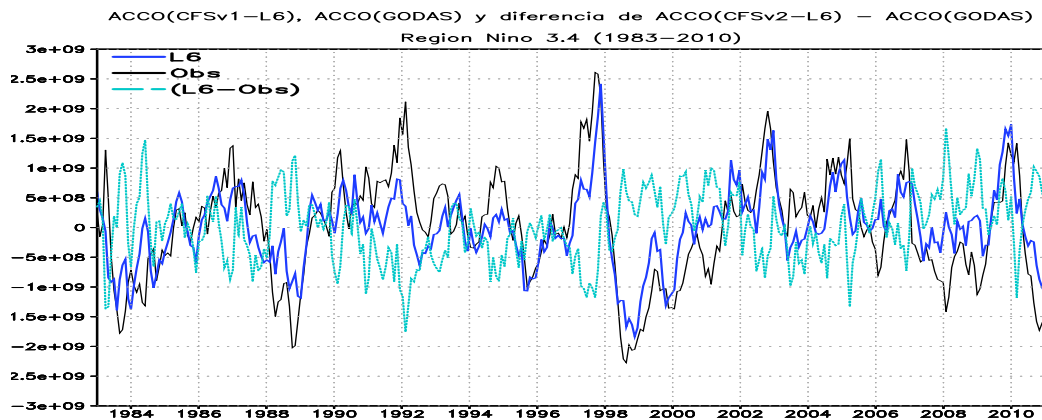


Figura 5.180: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L6 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

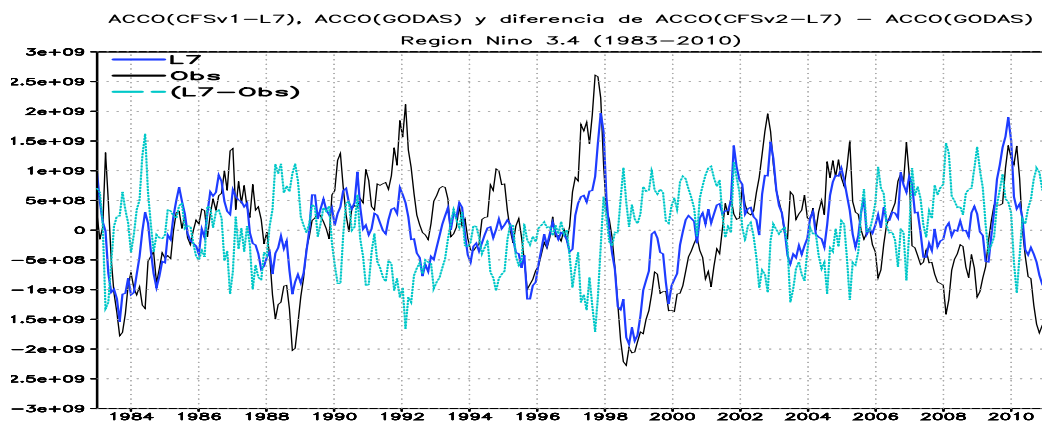


Figura 5.181: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L7 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

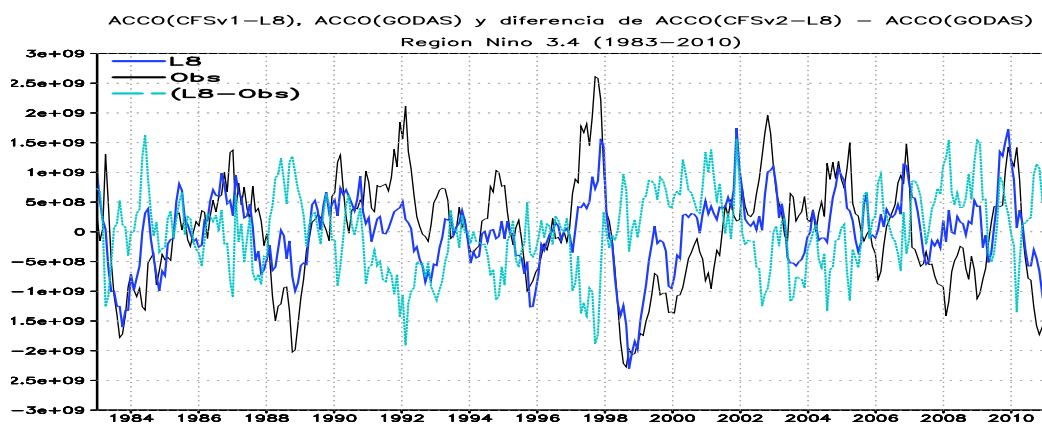


Figura 5.182: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L8 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

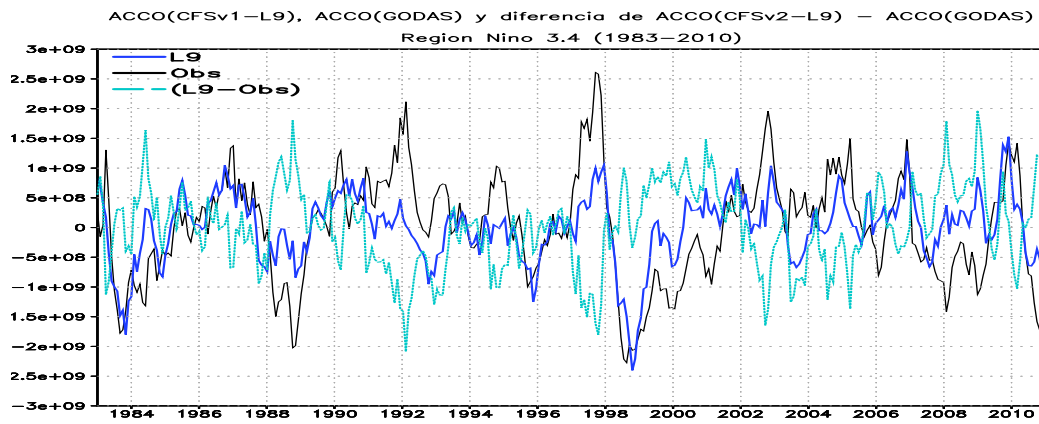


Figura 5.183: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L9 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

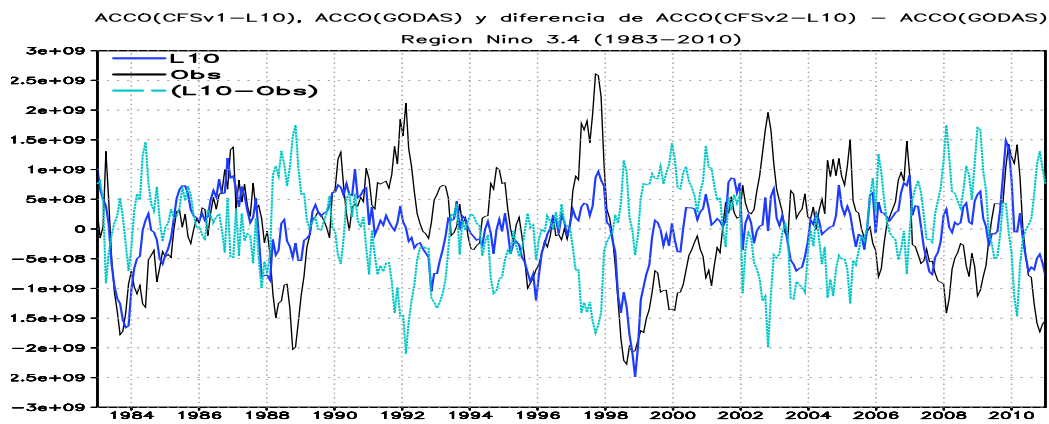


Figura 5.184: Series de tiempo de las ACCO observada (negra) y de CFSv1 para L10 (azul), en celeste la diferencia de lo pronosticado y observado. Región Niño 3.4 (1983-2010)

5.17. Coeficientes de correlación de anomalías de CCO pronosticada (CFS) y observada (GODAS) en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4.

El coeficiente de correlación del modelo CFSv1 para el periodo 1982-2009, en la región Niño 1+2 (Figura 5.185a), se observó que las correlaciones mayores a 0.7 se encuentra en los 9 leads entre los meses de diciembre y marzo; para los meses de octubre, noviembre y abril hasta el lead 8 y hasta el lead 7 para setiembre; entre los meses de mayo y junio se observa correlaciones menores a 0.53 desde el lead 3, los meses de junio, julio y agosto también muestran disminución de sus correlaciones en los leads siguientes. El mismo modelo para el periodo 1982-2009 sin tomar los años 1997-1998 (Figura 5.185b) se observa correlaciones mayores a 0.7 en todos los pronósticos para el mes de enero y hasta el lead 8 para el mes de febrero, los meses entre octubre y diciembre se observa hasta los leads 5, 6 y 7 respectivamente; los meses entre marzo y setiembre muestran buenas correlaciones hasta el lead 3, los meses de junio y julio muestra las mínimas correlaciones en algunos leads con correlaciones negativas a partir del lead 5. El modelo CFSv2 para el periodo 1983-2010 (Figura 5.185c) se observa que las correlaciones disminuyen de manera importante comparando las 2 figuras anteriores, las correlaciones máximas se dan en los meses de diciembre y enero con correlaciones mayores a 0.60 hasta el lead 7 y 5 respectivamente, los meses de febrero y marzo muestran CC menores a 0.6 después del lead 2, los meses entre abril y noviembre muestra buenas correlaciones solo en lead 1. Los resultado de la correlación con el modelo CFSv2 para el periodo 1984-2010 sin tomar el año 1997-1998 (Figura 5.185d) , se observa que las correlaciones disminuyen comparando los resultados con la figura anterior, la correlación máxima se observa en el mes de diciembre con correlaciones mayores a 0.5 hasta el lead 6, los meses de noviembre , enero y febrero también muestran correlaciones mayores comparadas con los demás meses, pero estos valores son menores a 0.5, las mínimas correlaciones se observa en los meses de setiembre y octubre a partir del lead 2 con correlaciones menores a 0.22.

Las correlaciones del modelo CFS con datos de GODAS para las anomalías

de CCO en la región Niño 3.4, con la primera versión del modelo (Figura 5.186a), se observa CC máximos entre los meses de agosto y diciembre hasta el lead 7 y en los meses de julio, enero y febrero hasta el lead 5 con correlaciones mayores a 0.7; en los meses entre marzo y junio se observan correlaciones mayores a 0.7 entre los lead 2 y 3. El mismo modelo con el periodo 1984-2009 sin tomar los años 1997-1998 (Figura 5.186b), se observan correlaciones mayores a 0.7 en los meses de octubre, noviembre y diciembre para los leads 7, 6 y 5 respectivamente, los meses de enero, febrero y setiembre se observa correlaciones mayores a 0.56 hasta el lead 6, los demás meses muestran buenas correlaciones en sus primeros leads, por otra parte la menor correlación se dio en los meses de mayo desde el lead 4, los meses junio y julio muestran correlaciones negativas en los leads 5 y 6. El modelo CFSv2 para el periodo 1983-2010 (Figura 5.186c), se observa correlaciones mayores a 0.7 entre los meses de agosto y diciembre hasta el lead 9, los meses de setiembre y julio hasta los leads 10 y 7 respectivamente; los meses entre enero y abril se observa buenas correlaciones, pero de menor valor que las interiores, los meses de menor correlación se observa en los meses de mayo y junio después del lead 4. El mismo modelo para el periodo 1984-2010 sin tomar los años 1997-1998 (Figura 5.186d), muestra las máximas correlaciones entre los meses de agosto y noviembre con CC mayores a 0.7 para los leads 6, 7, 8, 9 y 10, los meses entre enero y abril además de diciembre muestra buenas correlaciones intermedias, las mínimas correlaciones se da en los meses de mayo y julio después del lead 4 y en el mes de julio después del lead 5.

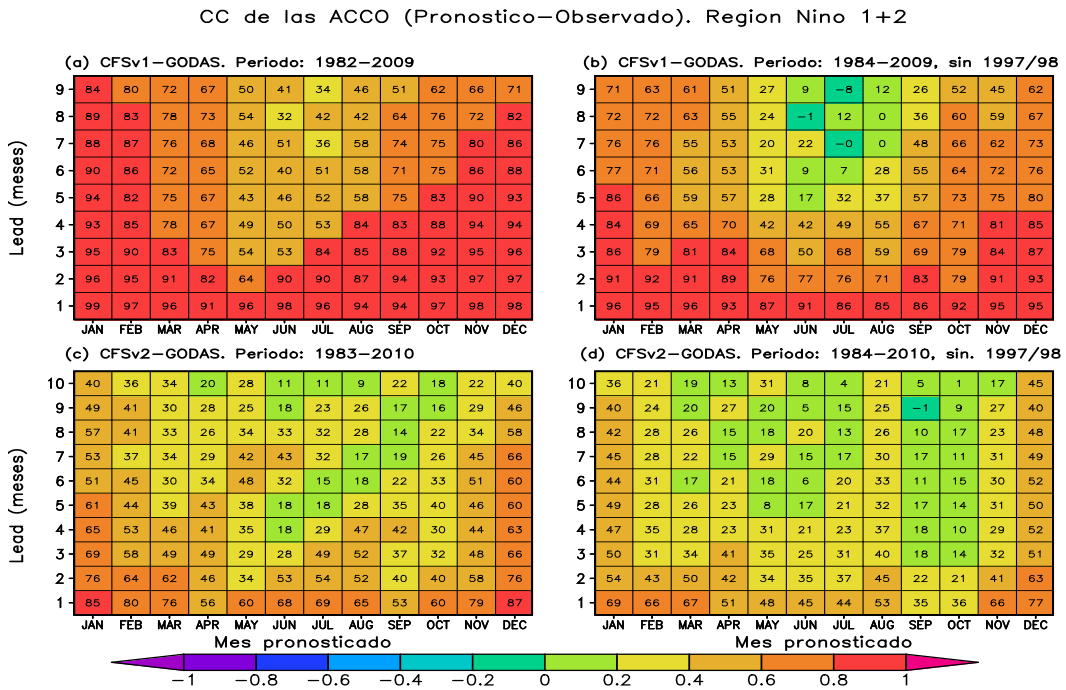


Figura 5.185: CCn de las anomalías de CCO para la región Niño 1+2, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

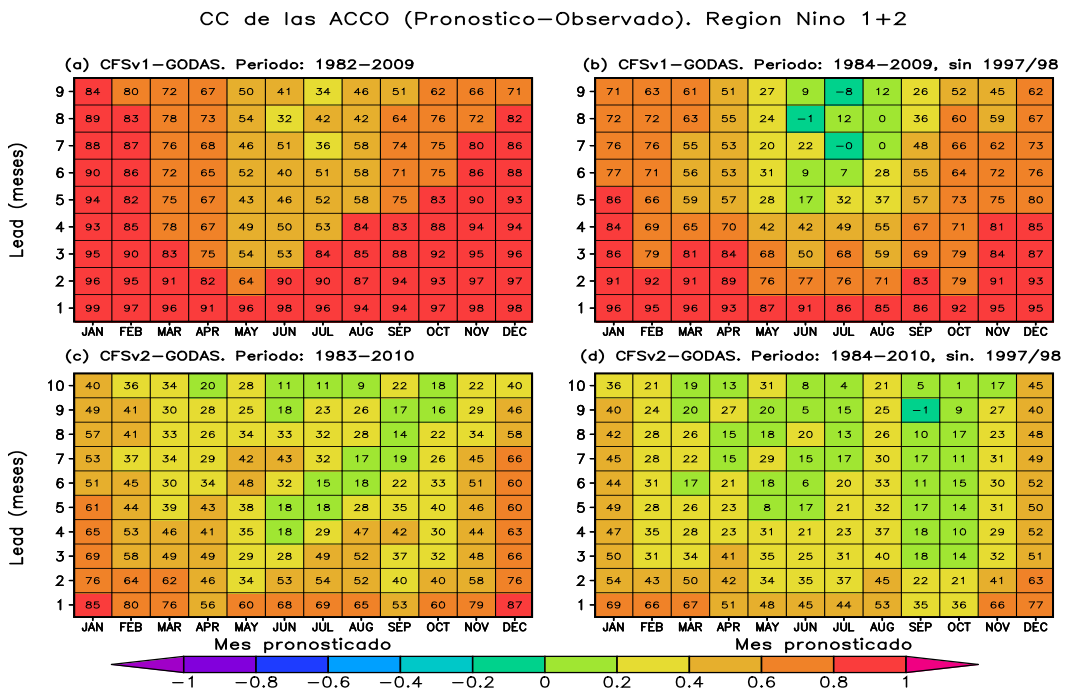


Figura 5.186: CC de las anomalías de CCO para la región Niño 3.4, a)CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

5.18. Error de raíz cuadrada media de anomalías (ERCM) de CCO pronosticada (CFS) y observada (GODAS).

El error de raíz cuadrada media de las anomalías de CCO para la región Niño 1+2 en el periodo 1982-2009 (Figura 5.187a) con el modelo CFSv1 muestra los menores errores entre los meses de agosto y marzo siendo la mayor parte de resultados menor a 0.92 J, excepto el mes de diciembre que muestra el último lead el valor de 102J, los meses donde se observa los mayores errores es para los meses de mayo y junio a partir del lead 4. La misma versión del modelo para el periodo 1984-2009, sin considerar los años 1997-1998 (Figura 5.187b), se observa que los errores disminuyen, los meses entre agosto y enero son los que muestran menor error, y los máximos errores se da en los meses de mayo y junio. En el modelo CFSv2 para el periodo 1983-2010 (Figura 5.187c), se observa de forma general incremento en el error con respecto a las 2 figuras anteriores, los meses de enero y febrero después del lead 2 se observa errores mayores a 100J, también a partir del lead 5 en el mes de marzo, muestra los menores errores entre los meses de agosto y octubre en los 9 leads y el mes de noviembre hasta el lead 7. El mismo modelo para el periodo 1984-2010 sin tomar los años 1997-1998 (Figura 187d), se observa errores mayores a 100 para los meses de entre enero y marzo para los leads 4, 3 y 5.

El ERCM de las anomalías de CCO en la región Niño 3.4 con el modelo CFSv1 para el periodo 1982-2009 (Figura 5.188a), en la región Niño 1+2 se observa una gran variabilidad, algunos errores son mayores a los leads siguientes, los mayores errores se observa en el mes de febrero así como en los dos últimos leads de los meses entre enero y abril, también entre agosto y diciembre; los errores para el periodo 1984-2009 sin tomar los años 1997-1998 (Figura 188b), también se observa variabilidad los errores son menores a los observados en la imagen anterior, y los máximos errores se encuentra entre los meses de enero y marzo. En los resultados del modelo CFSv2 para el periodo 1983-2010 (Figura 188c) muestran variabilidad y los mayores errores se observa en los últimos leads entre los meses de setiembre y febrero; el periodo 1984-2010 sin tomar los años 1997-1998 (Figura 189d) los mayores errores se observa entre los meses de octubre y febrero.

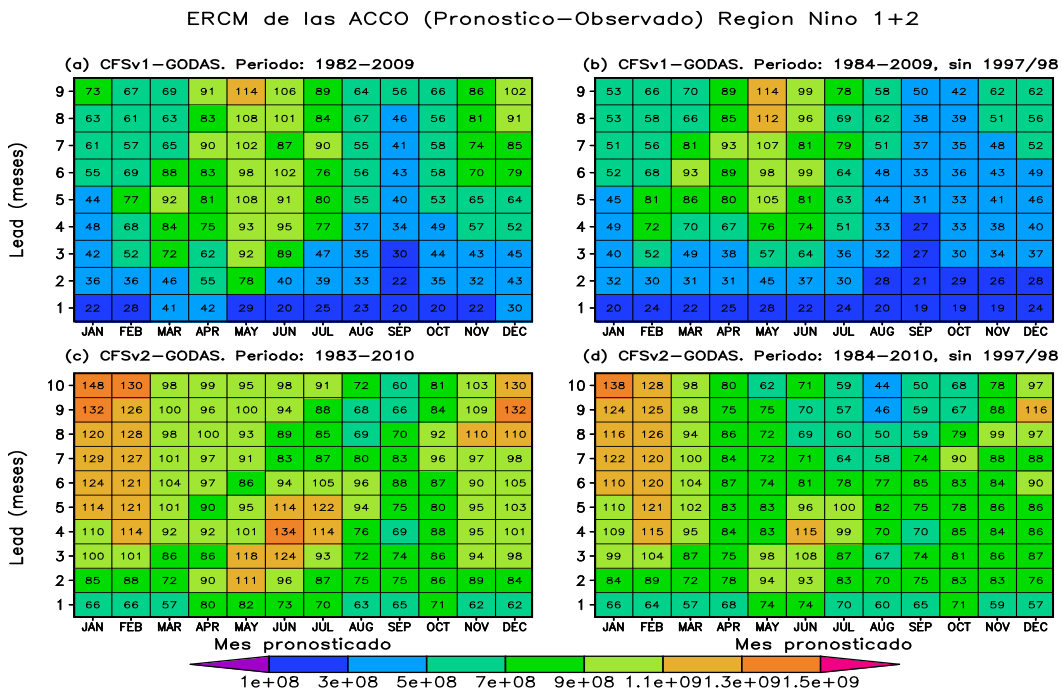


Figura 5.187: RMSE de las anomalías de CCO para la región Niño 1+2, a) CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

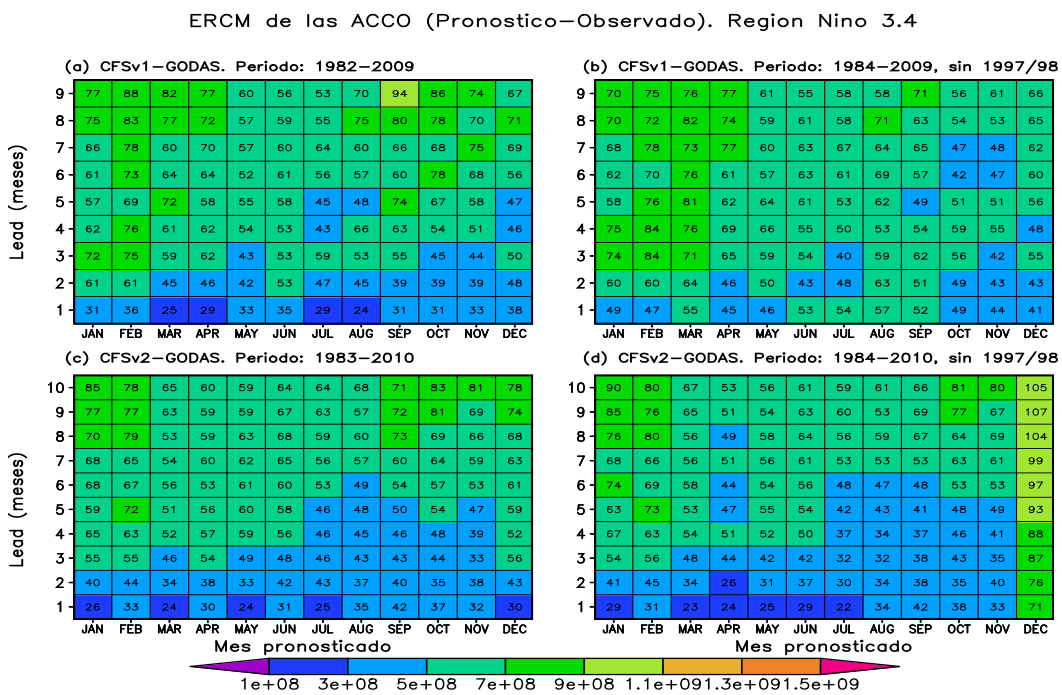


Figura 5.188: RMSE de CCO para la región Niño 3.4, a) CFSv1-GODAS, periodo 1982-2006; b) CFSv1-GODAS, periodo 1984-2006 sin los años 1997-1998; c) CFSv2-GODAS, periodo 1983-2010; d) CFSv2-GODAS, periodo 1984-2010 sin los años 1997-1998.

5.19. Coeficientes de correlación (CC) de ACCO pronosticada (CFS) y observada (GODAS) por periodos.

El Coeficiente de Correlación del modelo CFSv1 y los datos de GODAS de CCO para el periodo 1982-1990, para la región Niño 1+2 (Figura 5.189a) se observa las máximas correlaciones entre los meses de setiembre y marzo con CC mayores a 0.71, las mínimas correlaciones se observa entre los meses de mayo y julio y entre los leads 2 y 4 respectivamente, notable la baja correlación en el lead 3 del mes de junio. Para el periodo 1991-2000 (Figura 5.189c) se observa que las correlaciones son mayores comparadas con las figura anterior, se observa las correlaciones en los 9 leads entre los meses de octubre y abril, para el mes de setiembre hasta el lead 8, las mínimas correlaciones se observa entre los meses de mayo y agosto en los leads 8 y 9. El periodo 2001-2009 (Figura 5.189e) se observa disminución en los CC, se observó correlaciones buenas mayores a 0.74 entre los meses enero y abril hasta el lead 5 y entre los meses agosto y diciembre hasta el lead 4, las mínimas correlaciones se observa en el mes de mayo y junio desde el lead 3, julio desde el lead 4 y agosto desde el lead 5, mostrando correlaciones negativas las mismas que se incrementan en los últimos leads.

Las correlaciones del modelo CFSv2 y los datos de GODAS para CCO en la región Niño 1+2, para el periodo 1983-1990 (Figura 5.189b) las correlaciones mayores se observa entre los meses enero y abril; el mes de enero y febrero se observa CC mayores 0.7 en los 10 leads; las mínimas correlaciones se observa entre los meses de junio y diciembre después del lead 3, también se observa correlaciones negativas en los meses de julio y agosto en los leads 5 y 6 y en los últimos leads incluyendo el mes de setiembre. En el periodo 1991-2000 (Figura 5.189d) se observa las máximas correlaciones entre los meses de enero y marzo en los 10 leads con correlaciones mayores a 0.7, los meses de noviembre, diciembre y abril también muestran correlaciones buenas pero hasta el lead 8, las mínimas correlaciones se observa entre los meses de mayo y octubre después del lead 4. El periodo 2001-2010 (Figura 5.189f) las mayores correlaciones se observa entre los meses de diciembre y marzo hasta el lead 5 con correlaciones mayores a 0.65, las menores correlaciones se observaron entre los meses de abril

y noviembre después del lead 3, se observó correlaciones negativas en los meses de mayo y junio a partir del lead 7 y 8 respectivamente.

Los resultados del modelo CFSv1 para los dos primeros periodos muestra CC mayores a los de CFSv2, se explica que para el CFSv1 los menores CC se encuentra entre los meses de mayo y agosto siendo evidente a partir de los leads 2, 3 y 4 para cada mes, en cuanto al modelo CFSv2 las minimas correlaciones se observa entre los meses de junio y noviembre, además se observa correlaciones negativas entre los meses de julio y setiembre. Para el segundo periodo se observa las menores correlaciones para el modelo CFSv2, siendo la mayor diferencia entre los meses de junio y octubre En el tercer periodo, los CC del CFSv1 resultan tener CC menores que la versión dos del CFS, la primera versión muestra los menores CC entre los meses de mayo y agosto, mostrando correlaciones negativas en los últimos leads, se observa el valor máximo igual a -0.87, mientras que la segunda versión dos del modelo CFS también muestra correlaciones negativas entre los meses de mayo y noviembre; las correlaciones decrecen al incrementar los leads y los hacen en los primeros leads en los meses de mayo y en los últimos leads para el mes de noviembre.

El CC del modelo CFSv1 y los datos de GODAS para la región Niño 3.4 (Figura 5.190a) muestra coeficiente mayores a 0.7 entre los meses de octubre y enero, en los meses de agosto y setiembre hasta el lead 7; las mínimas correlaciones se observa en los meses de abril y mayo a partir del lead 2 y 3. Los resultados en el periodo 1991-2000 (Figura 5.190c) muestra buenos resultados, con correlaciones mayor a 0.74 entre los mes de julio y marzo, los meses entre abril y junio muestra correlaciones menores en los 3 últimos leads y en junio el lead 3 muestra una correlación de 0.68, los demás leads muestran correlaciones mayores a 0.81. El periodo 2001-2009, (Figura 5.190e) las correlaciones disminuyen comparándolas con las figuras anteriores, se observa las mayores correlaciones entre los meses de setiembre y diciembre hasta el lead 7 con valores mayores a 0.68 en el mes de febrero hasta el lead 6, las menores correlaciones se observa entre los meses de abril y julio a partir de lead3, en los lead finales se observa correlaciones negativas como en los meses de agosto y setiembre.

El modelo CFSv2 en la región Niño 3.4 para el periodo 1983-1990 (Figura 5.190b) se observa en su mayoría correlaciones mayores en 0.70 entre los meses

de julio y marzo a excepción en el lead 3 de febrero (0.69) y en el lead 10 de noviembre (0.64), la menor correlación se observa entre los meses de abril y junio. En el periodo 1991-2000 (Figura 190d), se observa buenas correlaciones, mayores o iguales a 0.7 entre los meses de agosto y diciembre hasta el lead 8, el mes de julio hasta el lead 7, la mínima correlación se encuentra entre los meses de febrero y mayo. Las correlaciones para el periodo 2001-2010 (Figura 5.190f) disminuyen comparando con las dos figuras anteriores, los CC con índices mayores a 0.70 se observa para los meses de noviembre y diciembre hasta el lead 9, el mes de setiembre hasta el lead 7, para el mes de agosto hasta el lead 6, los meses entre enero y marzo hasta el lead 4, las mínimas correlaciones se observa entre los meses de enero y julio a partir del lead 5, también se observa correlaciones negativas en los últimos leads de los primeros meses del año.

Los CC del modelo CFSv2 es superior al CFSv1 en la mayoría de los meses del primer periodo; para el segundo periodo en el CFSv2 se observa los menores CC son entre los meses de febrero, mayo y junio, estos CC también son menores a los del CFSv1; en el tercer periodo las dos versiones del modelo muestra CC negativos, siendo el CFSv1 el que muestra los menores coeficientes.

CC de las ACCO (Pronostico–Observado). Region Nino 1.2

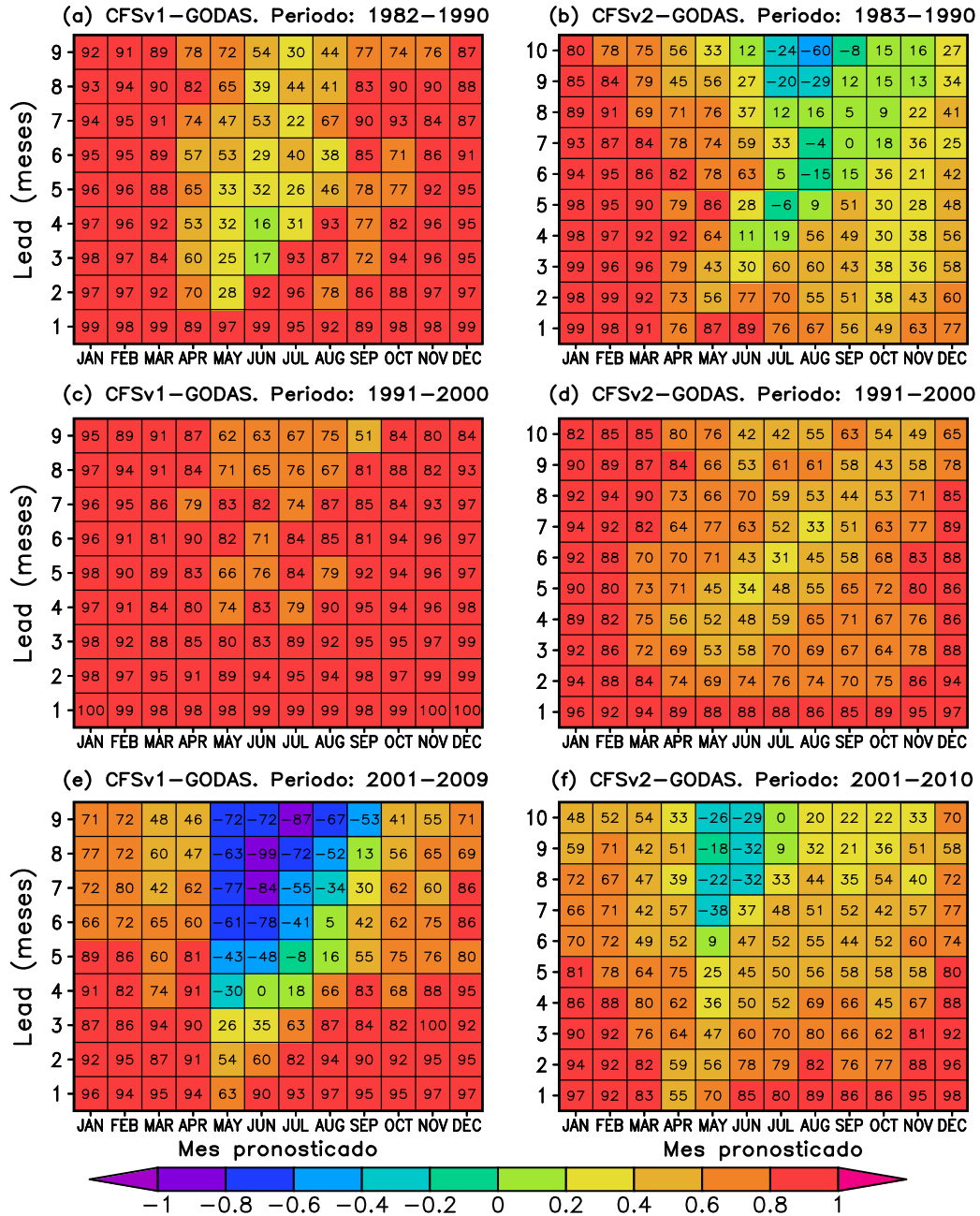


Figura 5.189: CC de las anomalías de CCO para la región Niño 1+2, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.

CC de las ACCO (Pronostico-Observado). Region Nino 3.4

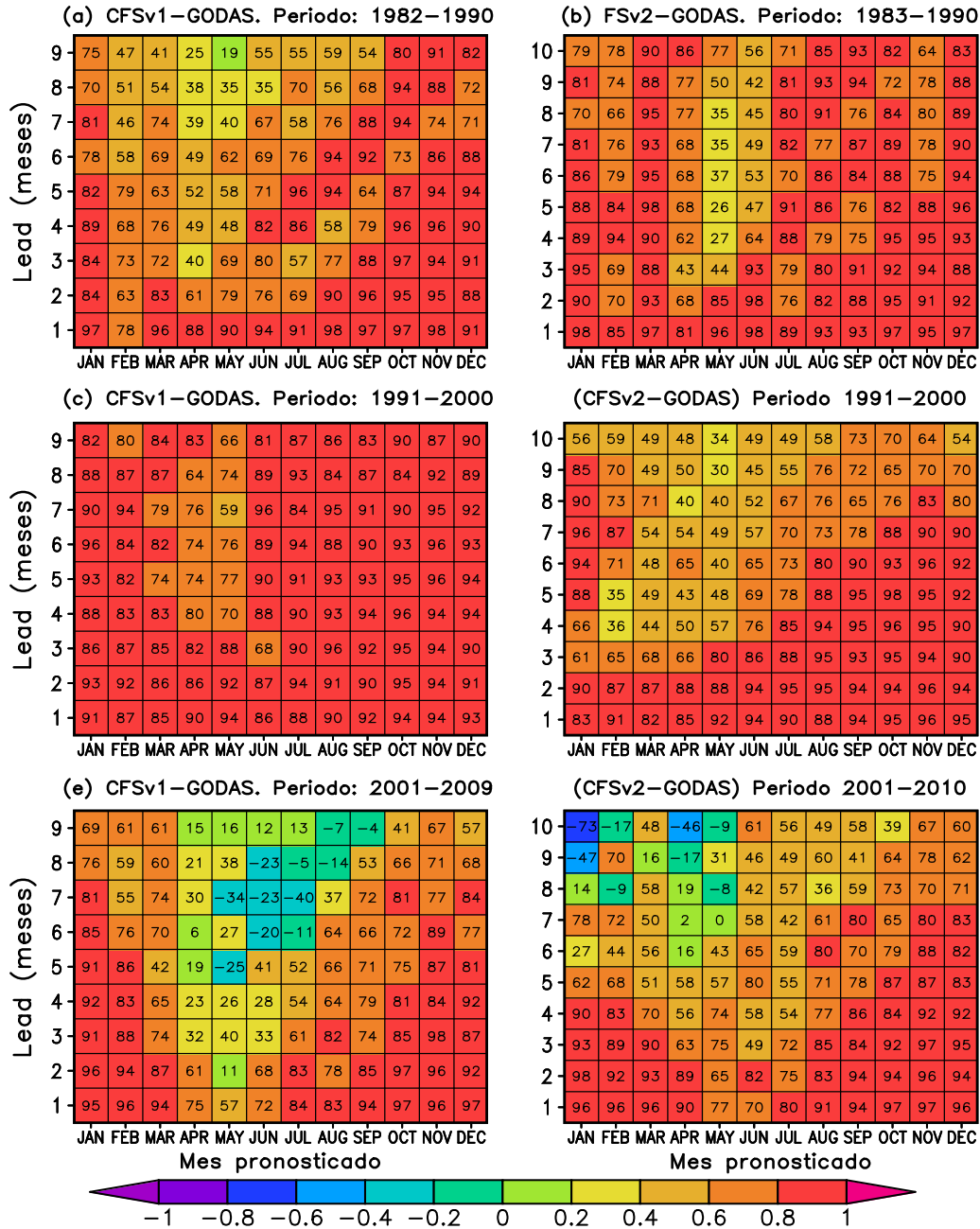


Figura 5.190: CC de las anomalías de CCO para la región Niño 3.4, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-GODAS para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-GODAS para el periodo 2001-2010.

5.20. Error de la raíz cuadrar media (ERCM) de las ACCO pronosticada (CFS) y observado (GODAS) por periodos.

Los resultados del ERCM para el modelo CFSv1 en la región Niño 1+2 en el periodo 1982-1990 (Figura 5.191a) muestra que los menores errores se encuentran entre los meses de julio y marzo; por otro lado, los mayores errores se encuentra entre los meses de abril y junio a partir de los leads 4, 2 y 3. En el periodo 1991-2000 (Figura 5.191c) se observa menores errores comparado con la figura anterior, siendo los máximos en los meses de noviembre, diciembre y mayo a partir de los lead 8, 7 y 10. El periodo 2001-2009 (Figura 5.191e) muestra los menores errores entre los meses de agosto y enero, los mayores errores se observa en el mes de mayo en el lead 3, en el mes de julio a inicios del lead 5, los meses de febrero, marzo y junio a partir del lead 4.

El modelo CFSv2 y los datos de GODAS, para el periodo 1983-1990 (Figura 5.191b) muestra los menores errores entre los meses de setiembre y abril, los mayores errores entre los meses de mayo y julio en forma progresiva a partir del lead 2. En el periodo 1991-2000 (Figura 5.191d), los mínimos errores se observaron entre los meses de enero y mayo y entre los meses de agosto y octubre, los máximos errores se observa en los meses de junio y julio, noviembre y diciembre. El periodo 2001-2010 (Figura 5.191f) las correlaciones disminuyen comparándola con figuras anteriores solo se observa el error igual a 10 en los leads 10 y 9 en los meses de enero y diciembre.

El error en la región Niño 3.4 con el modelo CFSv1 y los datos de GODAS, para el periodo 1982-1990 (Figura 5.192a) se observa los máximos errores entre febrero y abril en los primeros leads. El periodo 1991-2000, (Figura 5.192c) muestra los máximos errores en los meses de noviembre y diciembre principalmente, en los leads 8 y 9; en el periodo 2001-2009 (Figura 5.192e) se observa menores errores en general comparando con las dos figuras anteriores. El modelo CFSv2 y los datos de GODAS para el periodo 1983-1990, (Figura 5.192b), se observa que las correlaciones son casi constantes y los máximos errores son entre los meses de abril y mayo. En el periodo 1991-2000 (Figura 5.192d) se observa que los errores son mayores a los anteriores y que los máximos errores son en los meses de enero en los leads 3 y 4, para el mes de febrero a partir

del lead 3 y en los meses entre octubre y diciembre en los leads 9 y 10. En el periodo 2001-2010 (Figura 5.192f) los errores son menores a los observados en la figura anterior y los mayores errores son en el mes de enero en los leads 9 y 10.

ERCM de las ACCO (Pronostico-Observado). Region Nino 1+2

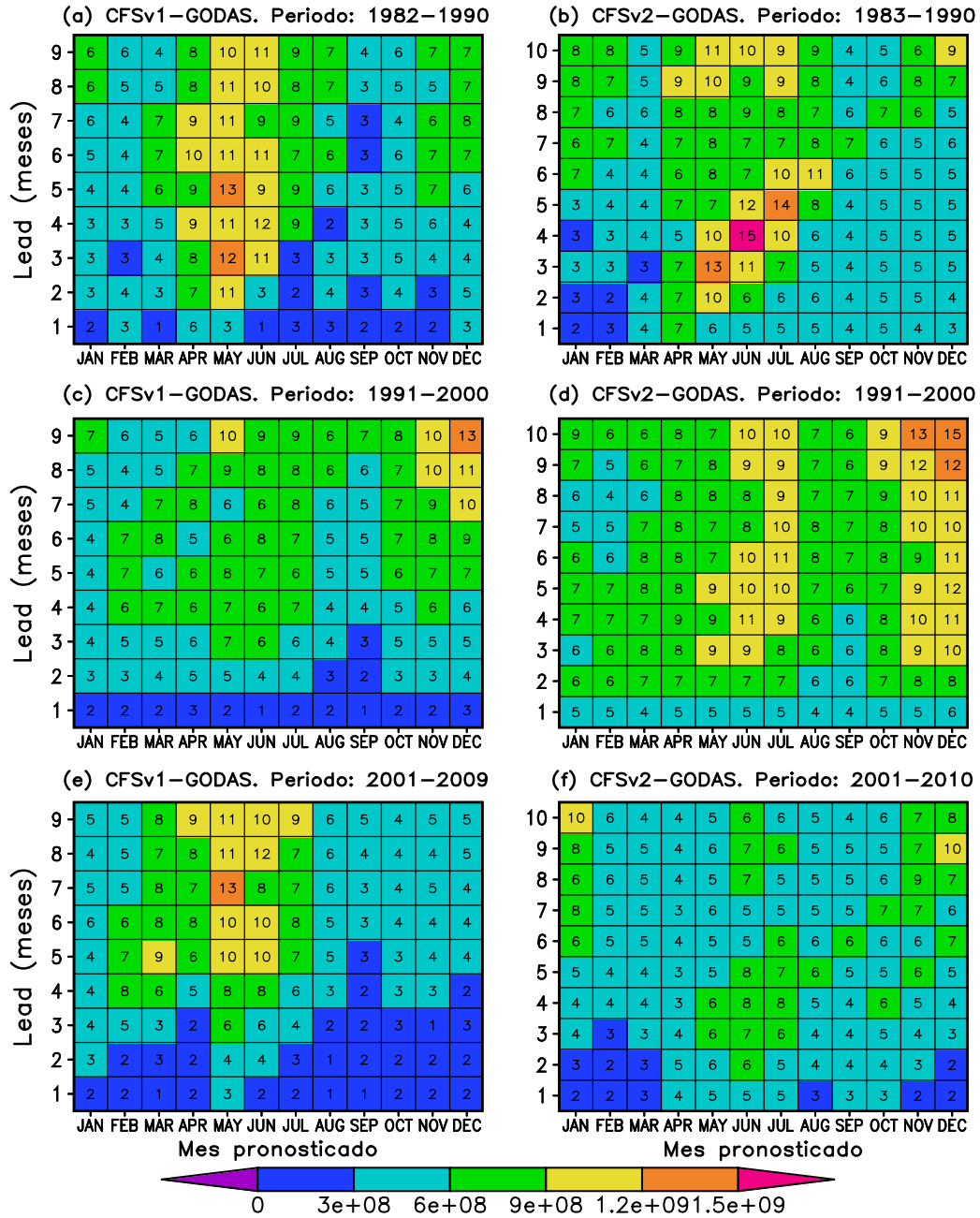


Figura 5.191: ERCM de las anomalías de CCO para la región Niño 1+2, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-OISSTv2 para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-OISSTv2 para el periodo 2001-2010.

ERCM de las ACCO (Pronostico-Observado). Region Nino 3.4

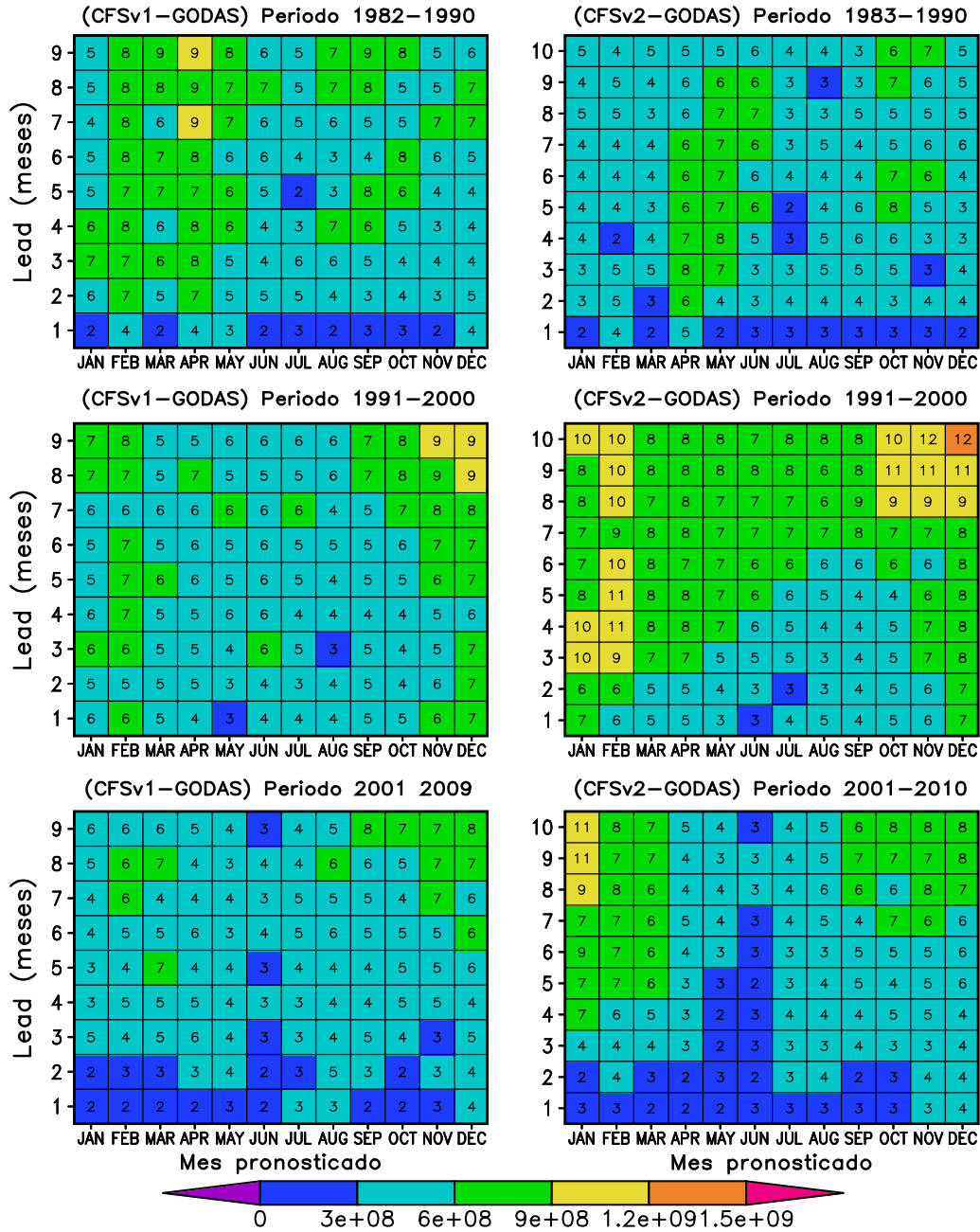


Figura 5.192: ERCM de las anomalías de CCO para la región Niño 3.4, a) CFSv1-GODAS para el periodo 1982-1990, b) CFSv2-GODAS para el periodo 1983-1990, c) CFSv1-GODAS para el periodo 1991-2000, d) CFSv2-GODAS para el periodo 1991-2000, e) CFSv1-GODAS para el periodo 2001-2009, f) CFSv2-GODAS para el periodo 2001-2010.

5.21. Carga y descarga de un oscilador

Según el modelo carga y descarga de un oscilador, los autotes (Kessler, 2002; Meinen and McPhaden, 2000; Trenberth et al., 2002), mencionan que hay un retardo en la llegada de la variación de la anomalía de la TSM con respecto a los cambios en la anomalía de CCO en la región Niño 3 (5°S - 5°N ; 150°W - 90°W), es decir que ante la proximidad de un evento Niño, el CCO se incrementa en esta región y meses después hay incremento de la TSM, para el caso de las anomalías negativas ocurre los eventos Niña. Se hicieron correlaciones desfasadas para estas dos variables, es decir se incrementó las anomalías de TSM de manera mensual, tomando como región el Pacífico Este (5°N a 5°S ; 155°W a 80°CW), se optó por esta región por que añade 10° hacia el este del OP, los cuales serían más próximos a la costa sudamericana. Las figura 5.193 muestran el Coeficiente de correlación (CC) de las anomalías del CCO de los modelos CFSv1 y CFSv2 con las anomalías de la variable de TSM de OISSTv2, en las cuales las correlaciones son para los mismos tiempos, a partir de la Figura 5.194 hasta la Figura 5.197 la anomalía de TSM se incrementa en 1 mes de manera progresiva y la anomalía de CCO es constante en el tiempo, la finalidad es encontrar el tiempo de la anomalía de TSM en que se observe las correlaciones más altas. Los resultados en la Figura 5.194 superior (anomalía de CCO de CFSv1 y datos de anomalía de TSM de OISSTv2) se observa que los CC son altos entre los meses de agosto y marzo, los coeficientes mayores a 0.7 se encuentra entre los meses de noviembre y febrero, en los meses de junio y julio sus CC de son altos hasta el lead 4; los menores los CC se observa en los meses de abril y mayo, la Figura 5.193 (anomalía de CCO de CFSv2 y datos de anomalía de TSM de OISSTv2) también tiene los CC altos en los mismos meses y los menores CC de la misma manera en los meses de abril y mayo, los CC de anomalía de TSM y anomalía de CCO del CFSv2 son menores con respecto a los del CFSv1.

Los resultados del CC incrementando en 1 mes los datos de anomalía de TSM con respecto a las anomalías de CCO, Figura 5.194 superior, se observa que los mayores CC son entre los meses de agosto y marzo, los meses entre mayo y julio solo en los primeros tres meses, al comparar esta figura con la Figura 5.193 superior, se observa que los CC se incrementan en la mayoría de los leads entre los meses de junio y diciembre, los meses de enero y febrero se observa leve

disminución en la correlación, los meses entre marzo y mayo tiene correlaciones mayores solo en los 3 primeros leads; para la Figura 5.194 inferior muestra CC inferiores a los de figura superior y sus mayores coeficientes se encuentra en los mismos meses, al comparar con la Figura 193 inferior se observa que los CC en la Figura 194 son mayores entre los meses de junio, julio, setiembre, octubre y noviembre, los meses de marzo, abril y agosto muestra coeficientes de correlación mayores solo en los dos primeros leads, el mes de diciembre presenta resultados similares.

La Figura 5.195 se observa CC de las anomalías de CCO y TSM con incremento de 2 meses, muestra los coeficientes mayores entre los meses de junio y febrero, al comparar con la Figura 5.193, en ambos casos (figuras superiores), los resultados del CC en los meses de mayo, julio, octubre y noviembre son mayores, en el caso de los meses de abril, junio, agosto y setiembre es mayor solo entre los leads 2 y 3, el mes de diciembre a pesar de tener CC alto no supera a los coeficientes de la Figura 5.193. La comparación para las figuras inferiores (CFSv2), se observa que los meses de mayo, junio, julio, setiembre y octubre los CC son mayores a la Figura 5.193, sin embargo, el mes de abril tiene coeficiente mayores, pero solo hasta el lead 7, para el mes de agosto solo en los 2 primeros leads, los demás meses muestran CC de correlación inferiores a la primera imagen.

Los resultados del CC entre las anomalías de CCO y TSM con un aumento de 3 meses (Figura 5.196), con los datos observados y del modelo CFSv1, muestra los mayores CC entre los meses de julio y enero, al compararla con la Figura 5.193 se observa que el CC en los 2 primeros leads del mes de abril son superiores, mientras que en los siguientes leads el CC es inferior. En el mes de mayo los 6 primeros leads muestran correlaciones mayores con respecto a la Figura 193, más aún siendo bastante superior entre los leads 3 y 6. En el mes de junio, el CC de los 2 primeros leads es inferior a la figura 5.193, por el contrario entre los lead 3 y 7 muestra CC superiores a la Figura 5.193, en los leads 8 y 9 el CC es menor nuevamente. En el mes de julio, los 2 primeros leads muestran CC superiores a los de la Figura 5.193, en el lead 3 se observa que el CC es menor a lo que se observa en la Figura 5.193, entre los leads 4 y 6 los CC son superiores nuevamente, en el lead 8 son menores a los observados en

la figura 193. En el mes de agosto, se observa que los 2 primeros leads tienen CC superior a los de la Figura 5.193, el CC disminuye entre los leads 3 y 4, en los leads 5 y 7 los leads se incrementan, los leads 8 y 9 los IC disminuyen. En el mes de setiembre los 3 primeros leads muestran CC superiores al mismo mes de la Figura 5.193, los leads 4 y 5 muestran CC inferiores, mientras que en el lead 6 vuelve a ser superior, finalmente los últimos leads son inferiores. El mes de octubre muestra todos los leads mayores a los de la Figura 5.193, el mes de noviembre en sus 3 primeros leads muestra CC inferiores, mientras que en los siguientes se obtiene CC superiores. En el mes de diciembre se observa que todos los leads los CC son inferiores.

En el modelo CFSv2 (Figura 196 inferior), para los meses de enero y febrero se observa que el CC en todos sus leads son menores con respecto a la Figura 5.193. El mes de marzo muestra en su mayoría CC menores, a excepción de los leads 5 y 6, similar es para el mes de abril, donde se observa los CC mayores en los leads 4 y 5. El mes de mayo muestra sus CC mayores hasta el lead 8. En el mes de junio se observa que todos los leads son mayores. En el mes de julio hasta el lead 7 los CC son mayores. En el mes de agosto se observa que los 2 primeros leads son mayores, en los 2 siguientes leads son menores, además se observa que el lead 5 es mayor y el lead 6 es menor y los leads entre 7 y 10 son mayores. En el mes de setiembre se observa que los CC son mayores. En el caso del mes de octubre los tres primeros leads son similares mientras que en los siguientes leads son mayores. Los meses de noviembre y diciembre tiene CC menor.

Los resultados del CC entre las anomalías de CCO y TSM con incremento de 4 meses (Figura 5.197), se observa que para el CFSv1 que los mayores CC se encuentran entre los meses de mayo y diciembre. Al comparar los tres primeros meses del año con la Figura 5.193 superior se observa que los CC son menores en todos sus leads. En el mes de abril los 2 primeros leads son mayores, mientras que los siguientes leads muestran CC menor. En el mes de mayo el CC del primer lead es menor, los leads entre 2 y 6 muestran coeficientes mayores, el lead 7 coinciden en valor, los leads 8 y 9 muestra CC menor. En el mes de junio los 2 primeros leads muestran CC menor comparado con la Figura 5.193, entre el lead 3 y 5 los leads son mayores, entre los leads 6 y 9 los leads son nuevamente menores. En el mes de julio el CC es mayor, es mayor

en el lead 1, los leads 2 y 3 muestra CC menor entre los leads 4 y 6 es mayor, en los últimos 3 leads el CC es menor. El mes de agosto los 2 primeros leads son mayores, los leads 3 y 4 son inferiores, por otro lado, los leads 5 y 7 son superiores a la Figura 5.193, el lead 6 coincide en valor, el lead 8 y 9 muestran CC menor. En el mes de setiembre se observa que los 2 primeros leads son mayores, entre los leads 3 y 9, solo se observa superioridad en el lead 6. En el mes de octubre se observa que los 3 primeros leads son menores, mientras que del lead 4 al 9 muestra superioridad. Los meses de noviembre y diciembre muestran coeficientes menores. La versión 2 del modelo CFS muestra que el CC es menor en todos los leads, entre los meses de noviembre y marzo. En el mes de abril los 3 primeros leads son inferiores, los leads 4 y 5 son mayores y los leads 6 y 10 son inferiores. Los meses de mayo y junio muestran correlaciones mayores, en el mes de julio la mayoría de los CC son superiores a excepción del lead 3. Los meses de agosto y setiembre muestran CC superiores en todos sus leads. En el mes de octubre los 8 primeros leads son inferiores, mientras que los leads 9 y 10 son superiores.

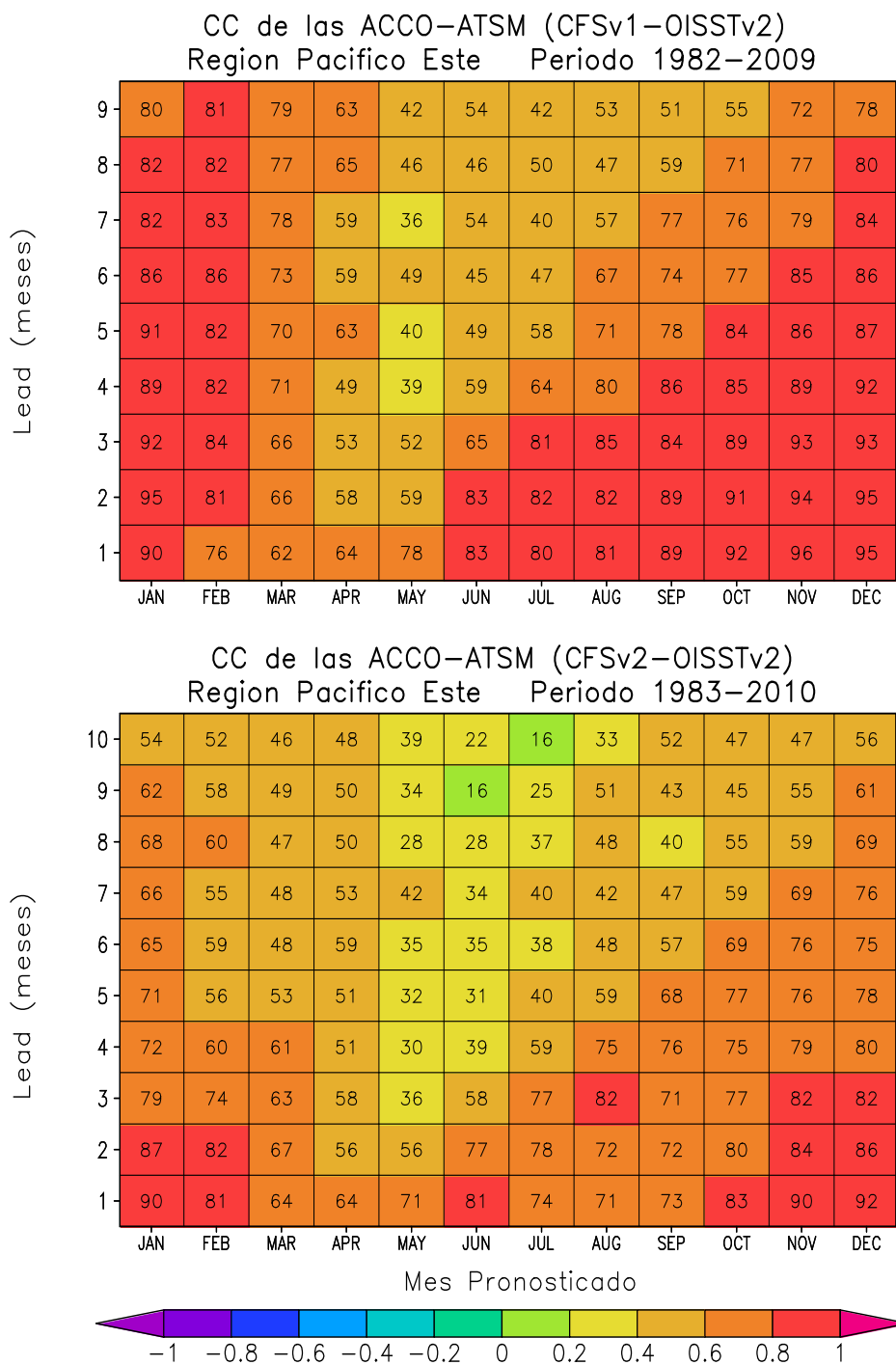


Figura 5.193: CC de las anomalías de CCO y TSM. Figura superior para CFSv1, figura inferior CFSv2

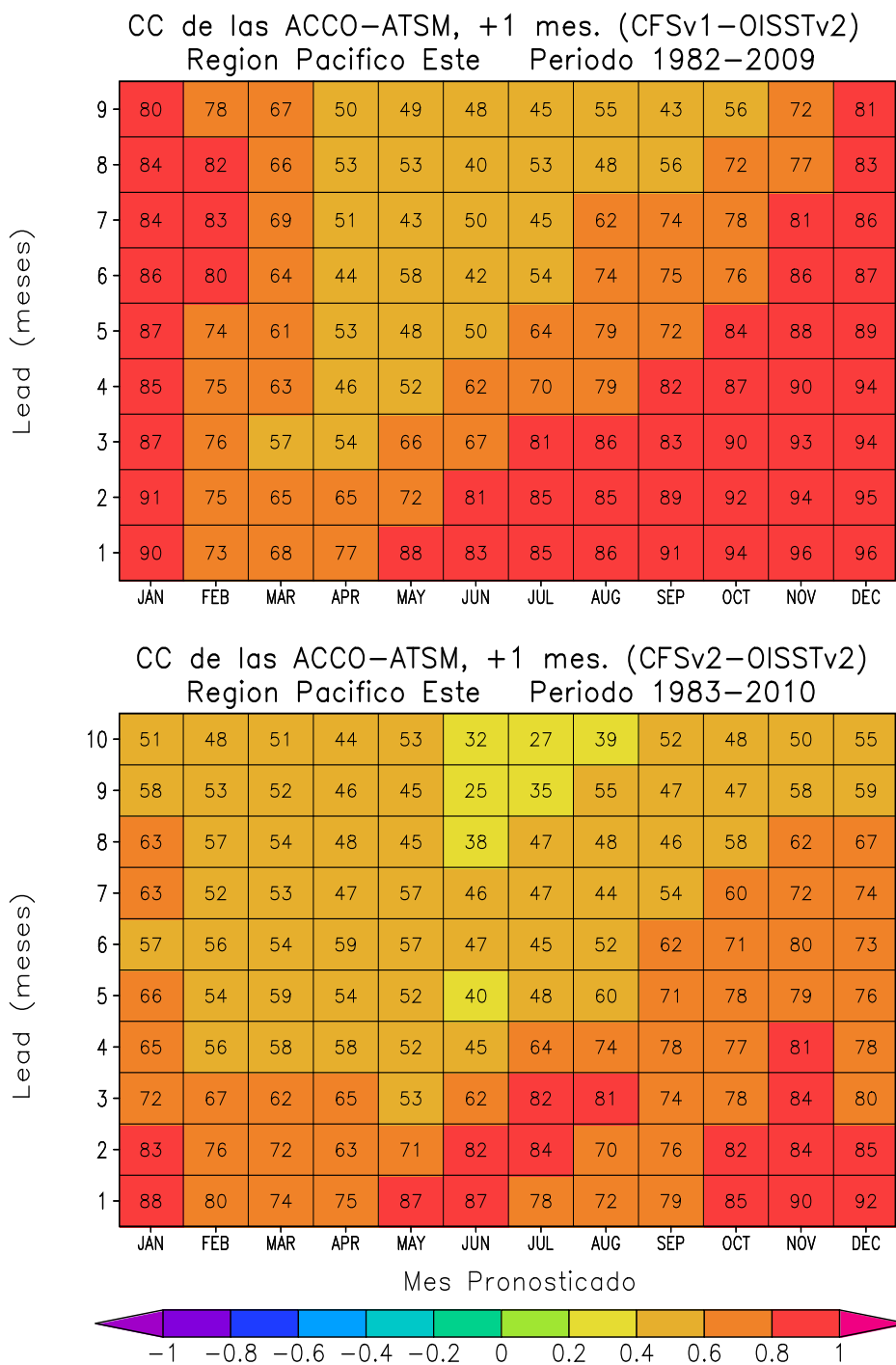


Figura 5.194: CC de las anomalías de CCO y TSM, considerando 1 mes adicional a la ATSM. Figura superior para CFSv1, figura inferior CFSv2

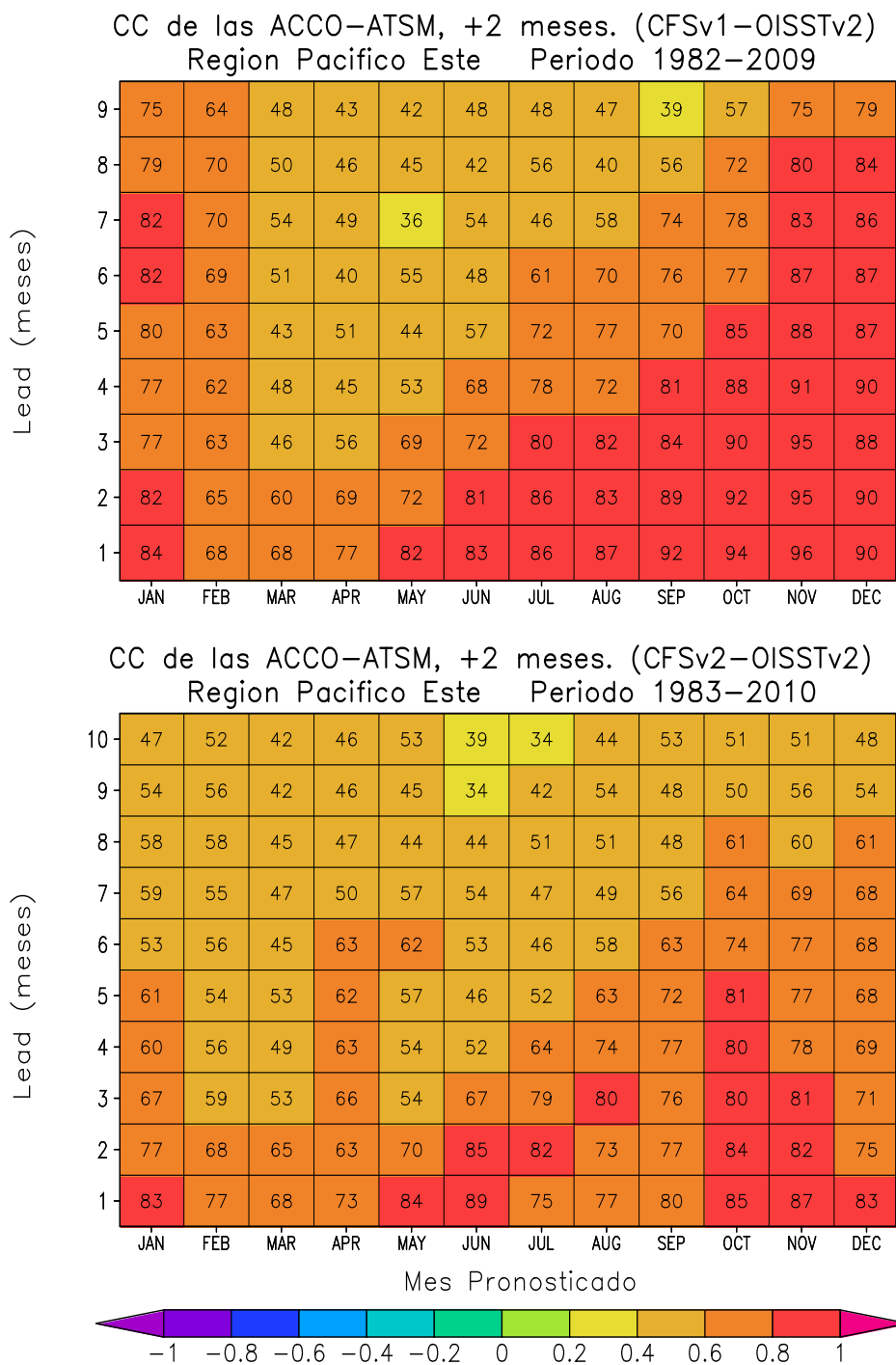


Figura 5.195: CC de las anomalías de CCO y TSM, considerando 2 meses adicionales a la ATSM. Figura superior para CFSv1, figura inferior CFSv2

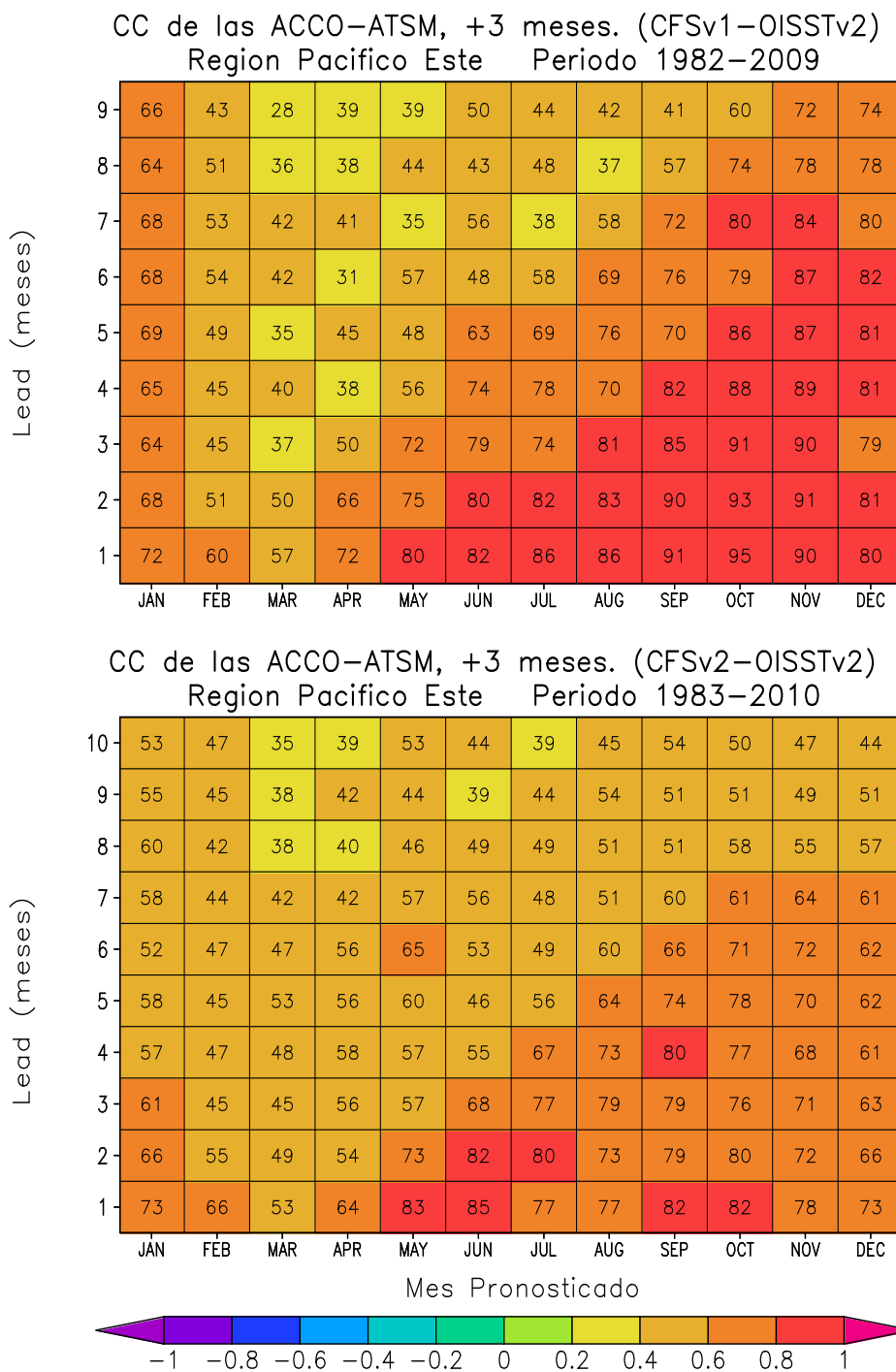


Figura 5.196: CC de las anomalías de CCO y TSM, considerando 3 meses adicionales a la ATSM. Figura superior para CFSv1, figura inferior CFSv2

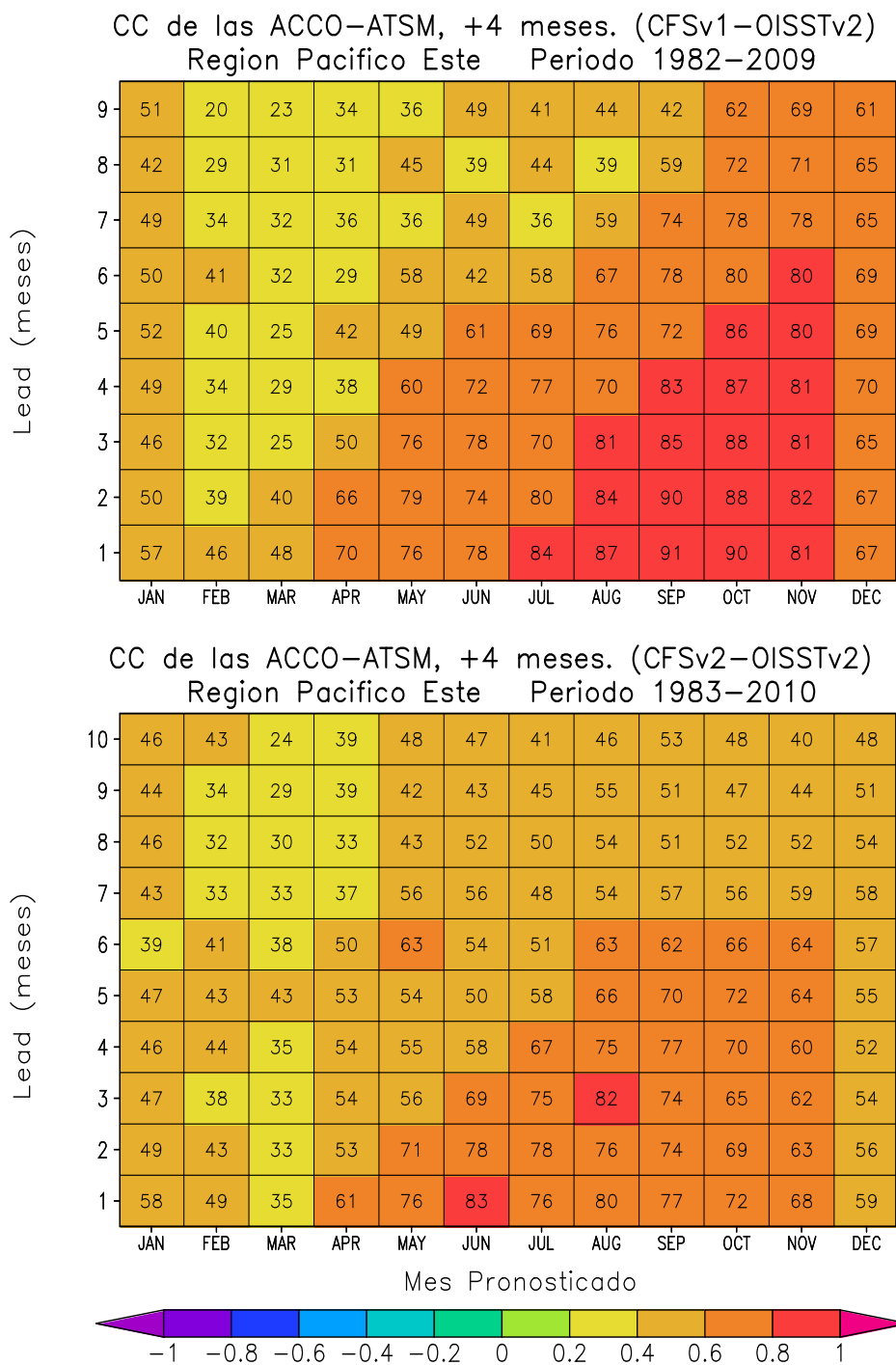


Figura 5.197: CC de las anomalías de CCO y TSM, considerando 4 meses adicionales a la ATSM. Figura superior para CFSv1, figura inferior CFSv2

Capítulo 6

Conclusiones

- De acuerdo a los resultados mostrados en el capítulo anterior se concluye que en la primera versión del modelo CFS se tiene mejores resultados para el pronóstico de anomalías de las variables climáticas TSM, CCO, PI15°C y NMM en la región Niño 1+2, sobre todo en los meses de octubre a enero con hasta 5 o 6 leads de pronóstico, ya que la correlación está por encima de 0.8 y el ERCM por debajo de 1. La segunda versión del modelo muestra mejores resultados que la primera versión en las regiones Niño3, Niño 3.4 y Niño4, para el pronóstico de las variables mencionadas. En general las correlaciones con mejores resultados se observa en las regiones Niño del Pacífico oeste, mientras que la región Niño 1+2 se observa las menores correlaciones, probablemente debido a los errores sustanciales sistemáticos en la climatología y a los procesos de retroalimentación en los modelos en el Pacífico oriental.
- De la misma manera se estimó los CC y el ERCM sin considerar los eventos Niños extraordinarios para cada versión del modelo CFS, donde se observa disminución del coeficiente de correlación para las regiones Niño, siendo la región Niño 1+2 donde los coeficientes de correlación tienen mayor disminución, por otro lado para los eventos Niña en la mayoría de los casos el modelo no podía darnos con certeza las anomalías negativas, como en el caso el evento La Niña del año 2010 que pasó desapercibida. Esto explica por que las correlaciones disminuyen al extraer los eventos El Niño.
- Los resultados de las correlaciones lineales entre los pronósticos y lo

observado son sustancialmente menores para el tercer periodo (2001-2009) comparado con los dos periodos anteriores (1982-1990 y 1991-2000) del CFSv1, del mismo modo para el CFSv2. Al comparar los resultados de las 4 regiones Niño, se observa que la región Niño 1+2 es la que tiene los menores coeficientes de correlación en el tercer periodo, más aún con coeficientes negativos en los meses de febrero y marzo desde los primeros leads, indicando poca confiabilidad en los pronósticos para los meses de verano, siendo de coincidencia para el periodo de lluvias en la costa norte.

- La baja correlación en el tercer periodo de pronóstico, podría estar asociada a la predominancia de los eventos “El Niño Modoki”, una de cuyas características incluye anomalías de temperatura superficial principalmente en el Pacífico central y una señal débil frente a Sudamérica. El cambio en las características de El Niño y su predictibilidad podría estar asociado a cambios decadales en el clima del océano Pacífico, que podrían ser tanto naturales como producidos por el hombre. Los efectos de la variabilidad decadal y el cambio climático sobre El Niño y su predictibilidad es un tema de estudio actual. En cuanto a los resultados del ERCM, la región Niño 1+2 es la que muestra los mayores errores y variabilidad en sus resultados, en general el ERCM es tenuemente mayor en el CFSv2.
- En los resultados de las correlaciones desfasadas de las anomalías de TSM y CCO, sólo se observó los coeficientes de correlación mayores con 1 mes de desfase (incremento mensual de las anomalías de TSM con respecto a CCO) entre los meses de abril y enero en para el Pacífico este, se observa nuevamente que los pronósticos no son buenos para la región oriental en los meses de febrero y marzo, los resultados para los desfases de 2, 3 y 4 meses muestran coeficientes de correlación menores, observándose los mejores resultados entre los meses de mayo y diciembre.

Capítulo 7

Recomendaciones

- La desventaja de los modelos climáticos globales es el trabajo con grillas grandes, las cuales dejaría de tomar en cuenta fenómenos que ocurren a menor escala, por ejemplo, frente a la costa peruana se presenta el afloramiento costero y presencia de nubes bajas frente a la costa central.
- Otro origen de los errores en los resultados de los modelos climáticos son los errores de incertidumbre de las condiciones iniciales del modelo.
- Es importante mencionar que para la fase del ENOS puede tener una influencia a la limitación temporal en los pronósticos debido al ruido estocástico del océano y la atmósfera esta influencia en los modelos es difícil de estimar.

Bibliografía

- Ashok, K., S. K. Behera, S. A. Rao, H. Weng, and T. Yamagata, 2007: El niño modoki and its possible teleconnection. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **112**, n/a–n/a, doi:10.1029/2006JC003798, c11007.
URL <http://dx.doi.org/10.1029/2006JC003798>
- Battisti, D. S. and A. C. Hirst, 1989: Interannual variability in a tropical atmosphere–ocean model: Influence of the basic state, ocean geometry and nonlinearity. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **46**, 1687–1712, doi:10.1175/1520-0469(1989)046<1687:IVIATA>2.0.CO;2.
URL [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1989\)046<1687:IVIATA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1989)046<1687:IVIATA>2.0.CO;2)
- Behringer, D. and Y. Xue, 2004: Evaluation of the global ocean data assimilation system at ncep: The pacific ocean. *Eighth Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land Surface*, AMS, ed., volume 84, 11–15.
- Bjerknes, J., 1969: Atmospheric teleconnections from the equatorial pacific. *Monthly Weather Review*, **97**, 163–172.
- Blumenthal, M., 1991: Predictability of a coupled ocean–atmosphere model. *Climatological Bulletin*.
- Burgers G., F. J. and G. van Oldenborgh, 2005: The simplest enso recharge oscillator. *Geophys. Res. Lett*, **32**, 13.
- Cane, M. A., 1986: El niño. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **14**, 43–70, doi:10.1146/annurev.ea.14.050186.000355.
URL <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.14.050186.000355>

- Carranza, L., 1891: Contra-corriente marítima, observada en Paita y Pacasmayo. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*, **1**, 344–345.
- Carrillo, C., 1892: Hidrografía oceánica. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*, **2**, 72–110.
- Eguiguren, V., 1894: Las lluvias en Piura. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*, 241–258.
- Flohn, H. and H. Fleer, 1975: Climatic teleconnections with the equatorial pacific and the role of ocean/atmosphere coupling. *Atmosphere*, **13**, 96–109.
- Glantz, M., 1996: *Currents of change: El Niño's impact on climate and society*. Cambridge.
- Goswami, B. and J. Shukla, 1991: Predictability of the coupled ocean-atmosphere model. *Climatology*, **4**.
- Jin, F., 1997: An equatorial ocean recharge paradigm for ENSO. part I: Conceptual model. *Atmosphere Science*, **54**, 811–829.
URL [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0469\(1997\)054%3C0811%3AAEORPF%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0469(1997)054%3C0811%3AAEORPF%3E2.0.CO%3B2)
- Kanamitsu, W. E. J. W. S. Y. J. H. M. F., M. and G. Potter, 2002: NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (r2). *American Meteorology Society*, **83**.
- Kerr, R. A., 1994: Official forecasts pushed out to year ahead. *Science*, **266**, 1940–1941.
URL <http://science.sciencemag.org/content/266/5193/1940>
- Kessler, W. S., 2002: Is ENSO a cycle or a series of events? *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 2125.
- Kirtman, B. P., 2003: The cold anomaly coupled model: Ensemble ENSO prediction. *Monthly Weather Review*, **131**, 2324–2341.
- Lagos, P., Y. Silva, E. Nickl, and K. Mosquera, 2008: El Niño - related precipitation variability in Perú. *Advances in Geosciences*, **14**, 231–237, doi:10.5194/adgeo-14-231-2008.
URL <https://www.adv-geosci.net/14/231/2008/>

- Lavado-Casimiro, W. and J. C. Espinoza, 2014: Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007). *Revista Brasileira de Meteorologia*, **29**, 171 – 182.
URL http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862014000200003&nrm=iso
- Lorenz, E. N., 1965: A study of the predictability of a 28-variable atmospheric model. *Tellus*, **17**, 321–333.
- Mantua, N. J. and S. R. Hare, 2002: The pacific decadal oscillation. *Journal of Oceanography*, **58**, 35–44, doi:10.1023/A:1015820616384.
URL <https://doi.org/10.1023/A:1015820616384>
- Meinen, C. and M. McPhaden, 2000: Observations of warm water volume changes in the equatorial pacific and their relationship to el niño and la niña. *Clim*, **13**, 3551–3559.
- Moorthi, H.-L. P., S. and . P. Caplan, 2001: Changes to the 2001 ncep operational mrf/avn global analysis/forecast system. *NOAA Technical Bulletin*, **484**, 1–14.
- Pacanowski, R. C. and S. M. Griffies, 1999: The mom3 manual. noaa/geophysical fluid dynamics laboratory.
- Perianez, 2010: *Fundamentos de Oceanografía Dinámica*.
- Philander, D., Holton, 1989: *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. Elsevier.
URL <http://store.elsevier.com/El-Nino-La-Nina-and-the-Southern-Oscillation/isbn-9780125532358/>
- Pickard and Emery, 1990: *Descriptive physical oceanography: An introduction*.
- Reynolds, R., N. Rayner, T. Smith, D. Stokes, and W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite sst analysis for climate. *Climate*, **15**, 1609–1625.
- Ropelewski, C. F., 1992: Predicting el niño events. *Nature Publishing Group*, 356–476.
URL <http://dx.doi.org/10.1038/356476a0>

Saha, S., S. Moorthi, H. L. Pan, X. Wu, J. Wang, S. Nadiga, P. Tripp, R. Kistler, J. Woollen, D. Behringer, H. Liu, D. Stokes, R. Grumbine, G. Gayno, J. Wang, Y.-T. Hou, H. Y. Chuang, Hann-Ming, H. Juang, J. Sela, M. Iredell, R. Treadon, D. Kleist, P. V. Delst, D. Keyser, J. Derber, M. Ek, J. Meng, H. Wei, R. Yang, S. Lord, H. van den Dool, A. Kumar, W. Wang, C. Long, M. Chelliah, Y. Xue, B. Huang, J.-K. Schemm, W. Ebisuzaki, R. Lin, P. Xie, M. Chen, S. Zhou, W. Higgins, C.-Z. Zou, Q. Liu, Y. Chen, Y. Han, L. Cucurull, R. W. Reynolds, G. Rutledge, and M. Goldberg, 2010: The ncep climate forecast syseem reanalysis. *American Meteorological Society*, **91**, 1015–1057.

URL <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2010BAMS3001.1>

Saha, S., S. Moorthi, X. Wu, J. Wang, S. Nadiga, P. Tripp, D. Behringer, Y.-T. Hou, H. ya Chuang, M. Iredell, M. Ek, J. Meng, R. Yang, M. P. Mendez, H. van den Dool, Q. Zhang, W. Wang, M. Chen, and E. Becker, 2014: The ncep climate forecast system version 2. *Journal of Climate*, **27**, 2185–2208, doi:10.1175/JCLI-D-12-00823.1.

URL <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>

Saha, S., N. C. Thiaw, J. Wang, W. Wang, Q. Zhang, H. M., V. den Dool, H.-L. Pan, S. Moorthi, D. Behringer, D. Stokes, M. P. na, S. Lord, G. White, W. Ebisuzaki, P. Peng, and P. Xie, 2006: The ncep climate forecast system. *Climatological Bulletin*, **19**, 3483–3517.

URL <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JCLI3812.1>

Shukla, J. and J. L. Kinter, 2006: Predictability of seasonal climate variations. *A pedagogical review. In Predictability of Weather and Climate*, 306–341.

Suarez, M. J. and P. S. Schopf, 1988: A delayed action oscillator for en-so. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **45**, 3283–3287, doi:10.1175/1520-0469(1988)045;3283:ADAOFE;2.0.CO;2.

URL [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1988\)045<3283:ADAOFE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1988)045<3283:ADAOFE>2.0.CO;2)

Takahashi, K., 2014: Variedades de El Niño. *Boletín Técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño*, Vol. 1, Num.2, Febrero, 4-7, Instituto Geofísico del Perú..

- Takahashi, K., K. Mosquera, and J. Reupo, 2014: El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización. *Boletín Técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño*, Vol. 1, Num.2, Febrero, 8-9, Instituto Geofísico del Perú..
- Thomson, E. W. J., R. E., 2014: *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Third edition edition.
- Trenberth, K. E., J. M. Caron, D. P. Stepaniak, and S. Worley, 2002: Evolution of El Niño â Southern Oscillation and global atmospheric surface temperatures. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **107**, AAC 5–1–AAC 5–17, doi:10.1029/2000JD000298.
URL <http://dx.doi.org/10.1029/2000JD000298>
- Voituriez, B. y. G. J., 2000: *El Niño: Realidad y Ficción*. UNESCO.
- Waliser, D. E. and C. Gautier, 1993: A satellite-derived climatology of the itcz. *Journal of Climate*, **6**, 2162–2174, doi:10.1175/1520-0442(1993)006<2162:ASDCOT>2.0.CO;2.
URL [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006<2162:ASDCOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006<2162:ASDCOT>2.0.CO;2)
- Wilks, D. S., 2006: *Statistical methods in the atmospheric science*. Elsevier.
- Woodman, R. F., 1999: Modelo estadístico de pronóstico de las precipitaciones en la costa norte del Perú. el fenómeno el niño. investigación para una prognosis. *1er encuentro de Universidades del Pacífico Sur*, **93**, 108.
- Wyrtki, K., 1963: The horizontal and vertical field of motion in the Peru current. *Bulletin Scripps Institute Oceanography*, **8**, 313.
- 1975: The dynamic response of the equatorial Pacific ocean to atmospheric forcing. *Physical Oceanography*, **5**, 572–584.
URL <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0485%281975%29005%3C0572%3AENTDR0%3E2.0.CO%3B2>
- Yeh, S.-W., J.-S. Kug, B. Dewitte, M.-H. Kwon, B. P. Kirtman, and F.-F. Jin, 2009: El Niño in a changing climate. *Nature*, **461**, 511–.
URL <http://dx.doi.org/10.1038/nature08316>

Zebiak and Cane, 1987: A model el nino-southern oscillation. *Monthly Weather Review*, **115**, 2262–2278.

URL https://www.researchgate.net/publication/230888815_A_Model_El_Nino-Southern_Oscillation