

Proyecciones climáticas para Uruguay a 2040 y 2070 mediante la técnica de reducción estadística de escala en el marco del Plan Nacional de Adaptación del sector agropecuario¹

Vanessa Bentancur²

Mariana Molinari³

Cecilia Jones⁴

Walter Oyhançabal⁵

Las proyecciones climáticas son útiles para los planes nacionales de adaptación, ya que dan indicios sobre los probables comportamientos futuros del clima. Las proyecciones parten de los modelos de circulación global (MCG) atmósfera-océano, que son de baja resolución espacial y, por lo tanto, de utilidad limitada para países como Uruguay. Por esta razón se decidió aplicar a los MCG técnicas estadísticas de reducción de escala (downscaling) que permiten incrementar la resolución espacial de las proyecciones. Este trabajo investiga cómo se relacionan los datos observados de precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima en 12 estaciones meteorológicas en un período de 30 años (1980-2010), con variables de circulación a gran escala salidas del reanálisis del modelo ERA-Interim-Dm mediante el uso de la plataforma MOSAICC de FAO para la reducción de escala de modelos de circulación global.

El principal resultado obtenido es que las proyecciones indican una evolución creciente en las tres variables estudiadas: precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima, independientemente del escenario, período o temporada del año, aunque con diferencias de magnitud. En el caso de las temperaturas máximas y mínimas, se proyecta un cambio mayor en la temporada fría, mientras que para la precipitación se proyecta un cambio mayor en la temporada cálida. Tanto en las temperaturas como en la precipitación se encontró una evolución positiva considerable.

En todos los modelos se halló un aumento significativo de temperatura media en todo el período para dos escenarios de evolución de la concentración de gases de efecto invernadero elaborados por el IPCC (RCP 4.5 y RCP 8.5).

Con respecto al indicador de déficit hídrico, se observó una disminución en el período estudiado, más pronunciada para la temporada fría.

En el análisis de extremos, se encontró una tendencia a la reducción del total de días con heladas por año y una evolución positiva en la frecuencia de las olas de calor, eventos que podrían llegar a duplicarse. Para la región sur del Uruguay, se podría esperar un aumento de los eventos de precipitación de más de 20 mm, a la vez que no se detectó un cambio significativo en la región norte.

¹ Programa Integración de la Agricultura en los Planes Nacionales de Adaptación (NAP-Ag), dirigido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con el apoyo de la Iniciativa Internacional para el Clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza, Construcción y Seguridad Nuclear (BMUB) de Alemania.

² Instituto SARAS.

³ Instituto SARAS.

⁴ Coordinadora Nacional PNA-Agro.

1. Reducción de escala de modelos climáticos

Los modelos de circulación global (MCG) son utilizados en proyecciones y estudios climáticos. Los MCG representan el clima mediante el uso de una malla tridimensional aplicada sobre el globo, con una resolución horizontal de entre 250 y 600 kilómetros aproximadamente, de entre 10 y 20 capas verticales en la atmósfera y de hasta 30 capas en los océanos.

Existen numerosos modelos climáticos desarrollados por distintas instituciones, sin embargo, por su baja resolución horizontal no resultan apropiados para estimar procesos a nivel local. Por otra parte, los MCG no son exactos y aquellos que se comportan mejor en una región pueden no ser adecuados para otra. Asimismo, la habilidad de los modelos es diferente según la variable meteorológica que se desee examinar.

Para el estudio de los 22 MCG que utiliza el IPCC⁶ se seleccionaron los cuatro modelos que reproducen mejor el comportamiento del clima en el sudeste de América del Sur (Tabla 1).

Tabla 1. Modelos climáticos globales utilizados para el análisis

Modelo	Procedencia
CMIP5-CANESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis
CMIP5-CNRM-CM5	Météo-France and CERFACS
CMIP5-GFDL-ESM2M	NOAA
CMIP5-MPI-ESM-MR	The Max Planck Institute

Fuente: Elaboración propia con base en IPCC, s/f.

Para realizar las proyecciones se usaron dos de los cuatro escenarios de evolución de las concentraciones de gases de efecto invernadero (RCP, por su sigla en inglés) generados por el IPCC en su *Quinto Informe de Evaluación* (IPCC-AR5): el 4.5 y el 8.5. Los RCP representan el nivel de forzamiento radiativo al que se llegaría según diferentes evoluciones en las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI). Por ejemplo, RCP 8,5 significa que partiendo de un forzamiento radiativo cercano a 2 W/m^2 en 2000, se llegaría a 2100 con un valor de $8,5 \text{ W/m}^2$. Cada RCP se basa en supuestos socioeconómicos internamente consistentes.

Dada la baja resolución espacial de los MCG, la reducción de escala es una manera de aumentar la resolución de las proyecciones. En el caso del Uruguay, prácticamente el país entero queda incluido en un solo pixel del MCG, por lo cual no es posible identificar tendencias a escala subnacional. Por este motivo, es necesario realizar un proceso de reducción de escala que aumente la resolución espacial. Por otra parte, las incertidumbres en las condiciones iniciales de los campos atmosféricos, los escenarios de forzamiento y el costo computacional al llevar a cabo una reducción de escala conducen a la necesidad de proyecciones climáticas probabilísticas. En este contexto, los métodos estadísticos son una opción muy buena a la hora de realizar un *downscaling*.

⁶ Intergovernmental Panel on Climate Change.

El proceso de reducción estadística de escala comienza con la comparación de simulaciones de un MCG a gran escala con el registro histórico a escala local. Esta etapa es denominada *perfect prognosis*. Luego de identificar cuáles predictores representaron mejor las variables climáticas a nivel local en el pasado, se los utiliza en conjunto con los MCG y RCP para obtener proyecciones de variables climáticas a escala local.

En este estudio, se utilizaron datos de ERA-INT-DM¹⁴ para la selección de predictores y se comprendió el periodo 1980-2010 de 9 estaciones meteorológicas del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) y 3 estaciones experimentales del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA): Artigas, Carrasco, Colonia, Melo, Mercedes, Paso de los Toros, Paysandú, Rocha y Salto, y La Estanzuela, Salto Grande y Tacuarembó, respectivamente.

2. Proyecciones

La proyección climática es compleja, sin embargo, entender a qué posibles escenarios y riesgos pueden estar expuestos los sistemas de producción es clave para desarrollar estrategias de adaptación que disminuyan la vulnerabilidad y aumenten la resiliencia.

La mayoría de los eventos climáticos extremos no dependen de una sola variable, sino de varios parámetros. En este trabajo se estudiaron como variables independientes precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima.

Como se mencionó antes, en estas proyecciones se utilizaron dos de las cuatro trayectorias RCP: 4.5 y 8.5. Para definir los indicadores de extremos se usaron los índices que aparecen en el IPCC-AR5, además de los utilizados por Frich, *et al.* (2002), por Vincent, *et al.* (2005) y por Haylock, *et al.* (2006), quienes realizaron estudios en los que se incluyó esta región de América del Sur. También se utilizaron los trabajos de Renom (2009) y Saravia, *et al.* (2011).

2.1 Definición de variables

La temperatura media se definió como:

$$\bar{T} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

La serie proyectada incluyó el promedio de las 12 estaciones meteorológicas de referencia para cada modelo. Por otra parte, se definió la temporada cálida, que abarca los meses entre octubre y marzo, y la temporada fría, que incluye de abril a septiembre.

Al analizar las proyecciones, para el promedio mensual en el caso de la temperatura y para el acumulado mensual en el caso de la precipitación se ajustó cada uno por la climatología de referencia (histórica) a través de la siguiente fórmula:

$$\Delta\bar{T} = \bar{T}_{simulada} - \bar{T}_{historica}$$

Las precipitaciones se expresaron en forma de porcentaje a través de la siguiente fórmula:

$$\Delta\overline{pp} = \frac{\overline{pp}_{simulada} - \overline{pp}_{historica}}{\overline{pp}_{historica}} * 100$$

El estudio se realizó para la serie de precipitación sobre acumulados mensuales y en particular se evaluaron los períodos 2010-2040 y 2040-2070. Por otra parte, para analizar el grado de significancia de la tendencia sobre la serie se realizó el test Mann Kendall.

Para el análisis de olas de calor se elaboró un índice que considera los periodos con al menos tres días consecutivos en los que la temperatura máxima de cada día supera la media para ese día, adicionando tres veces la desviación estándar de la temperatura máxima histórica para dicha fecha, es decir:

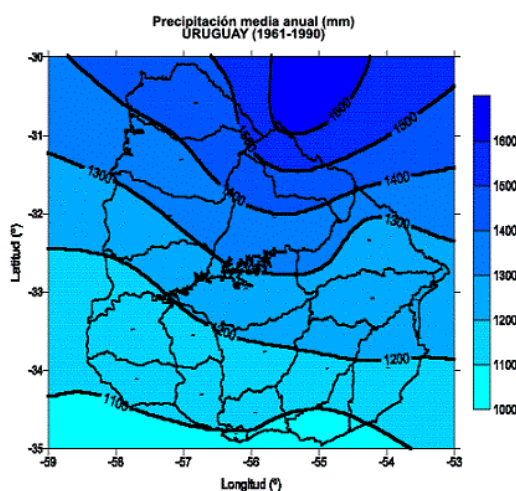
$$\bar{T}_{max3días} > \bar{T}_{mediahistorica} + 3\sigma$$

En este análisis se tomó para cada periodo, modelo y escenario la cantidad máxima de eventos de olas de calor entre todas las estaciones.

Como indicador de heladas, se consideraron periodos de cada década en los que la cantidad de días que la temperatura mínima fue menor a 0 °C ($T_{min} \leq 0$) y luego se les realizó un ajuste polinomial de grado 4 para una mejor visualización.

Los eventos extremos de precipitación se definieron como el número de días en los que la precipitación superó los 20 mm.

Figura 1. Mapa de precipitación media anual 1961-1990 observada



Fuente: INUMET, 2019.

El análisis de precipitaciones extremas se hizo considerando dos regiones delimitadas por la franja de precipitaciones de 1200-1300 mm (Figura 1). También se separaron la temporada cálida y la fría.

El indicador de déficit hídrico se realizó con base en el método del INUMET. Se separó la precipitación mensual acumulada en quintiles de 1 a 5: muy seco, seco, normal, lluvioso y muy lluvioso. Existe déficit hídrico se define cuando los valores están dentro de los quintiles 1 y 2.

3. Resultados

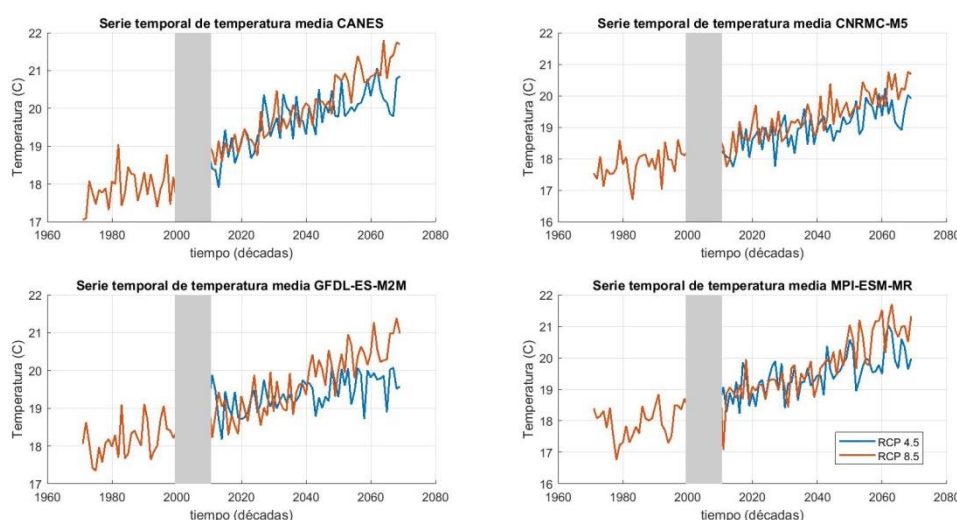
3.1. Proyecciones: evolución de campos medios y de extremos

Se obtuvieron proyecciones de temperaturas máxima y mínima mediante el método de 5 análogos y de precipitación mediante el método de 1 análogo. Se seleccionó solo 1 análogo en precipitación ya que se están considerando acumulados de 10 días.

Las proyecciones se ajustaron a las relaciones obtenidas mediante los predictores humedad específica a 850 hPa y geopotencial en 250 hPa para la temperatura máxima y mínima y mediante los predictores velocidad zonal y meridional a 700 hPa y humedad específica a 850 hPa para la precipitación.

La Figura 2 muestra la temperatura media para los cuatro modelos estudiados en los dos RCP considerados.

Figura 2. Serie temporal de temperatura media para los distintos escenarios



Nota: En celeste se muestra el escenario RCP 4.5 y en naranja el RCP 8.5. La franja gris representa el salto entre el final de las simulaciones históricas (año 2000) y el comienzo de las proyecciones con RCP (año 2010).

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para todos los modelos y escenarios se proyecta un aumento en la temperatura media en el período considerado. Se observa que el modelo GFDL-ES-M2M proyecta entre los años 2010 y 2030 un cambio mayor para el escenario RCP 4.5, que se invierte a partir del 2030. Para los otros tres modelos, desde el 2010 en adelante se visualiza un aumento mayor en el escenario RCP 8.5.

Las diferencias en los resultados derivados de los dos RCP estudiados son evidentes. Se puede notar que a medida que pasan los años los escenarios RCP muestran diferencias mayores en el cambio de la temperatura. Si los datos se ajustan linealmente, la diferencia entre los RCP para el final del período presenta una amplitud de aproximadamente 1 °C.

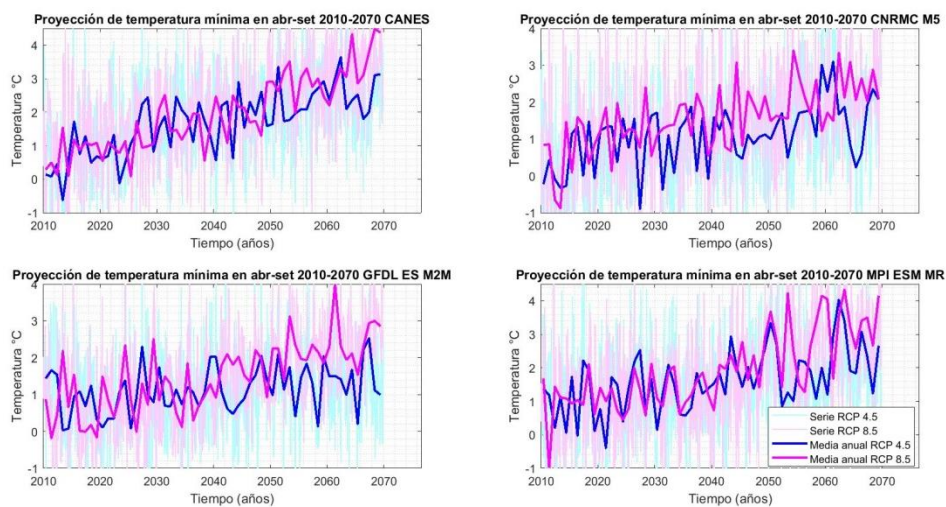
Si observamos la media en todo el período para el caso del RCP 4.5, la amplitud total depende del modelo: mientras que el CANESM2 presenta casi 3 °C, en los demás es de entre 1,5 °C y 2 °C. Lo mismo se observa para el RCP 8.5, para el que en casi todos los casos hay 2,5 °C de amplitud, salvo en el CANESM2, que tiene aproximadamente 3 °C. Las diferencias observadas por modelo y por escenario (RCP) son significativas al 95 % según el test Mann Kendall ($p=0,05$).

Las diferencias entre los escenarios y los resultados de la proyección son comparables con lo reportado por Bidegain en 2016.

Como se aprecia en la Figura 3 y la Figura 4, para el periodo 2010-2070 en la mayoría de los modelos se muestra una evolución positiva mayor de la temperatura mínima en la temporada fría. Por otra parte, para el periodo 2010-2040 se observa una evolución similar en los dos escenarios, independientemente de la temporada, mientras que en el período 2040-2070 se notan diferencias entre ellas.

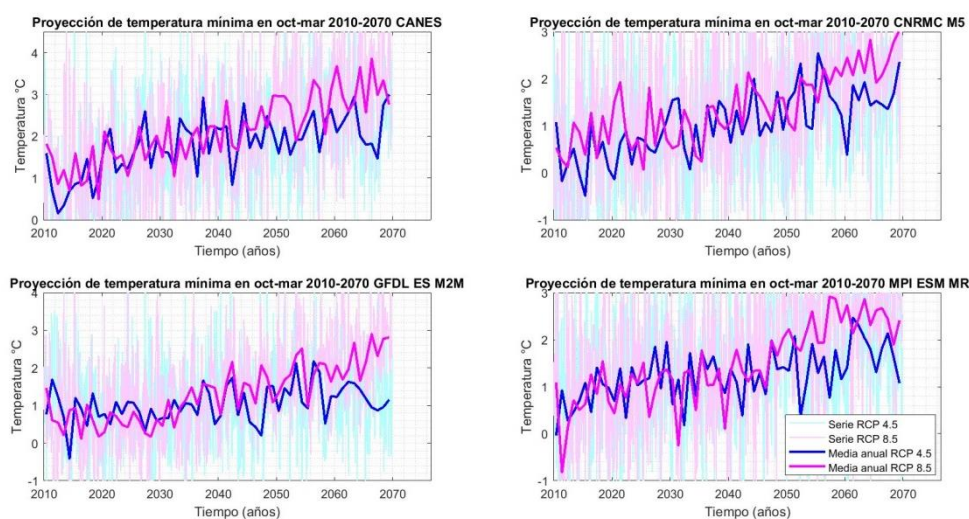
Considerando la temporada cálida y fría conjuntamente, en el periodo 2010-2040 se aprecia una evolución hacia un aumento de entre 0,6 °C y 1,3 °C para el RCP 4.5 y de entre 0,8 °C y 1,3 °C para el RCP 8.5. En cambio, para el periodo 2040-2070 se espera un incremento de entre 1,3 °C y 2,2 °C para el RCP 4.5 y de entre 2 °C y 2,7 °C para el RCP 8.5.

Figura 3. Evolución de la temperatura mínima en temporada fría



Fuente: Elaboración propia, 2018.

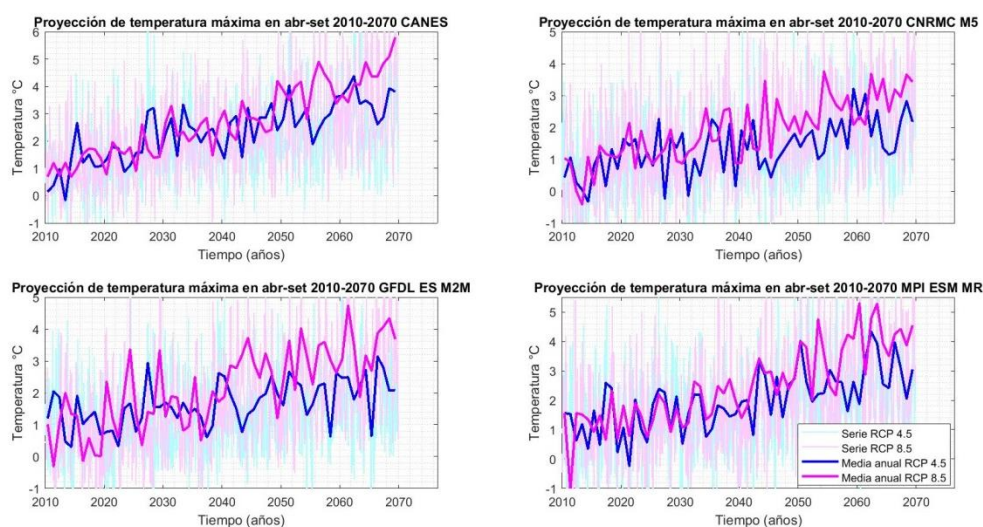
Figura 4. Evolución de la temperatura mínima en temporada cálida



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Como se aprecia en la Figura 5 y la Figura 6, el modelo CANESM2 proyecta mayores cambios en la temperatura máxima para casi todos los casos.

Figura 5. Evolución temperatura máxima temporada fría

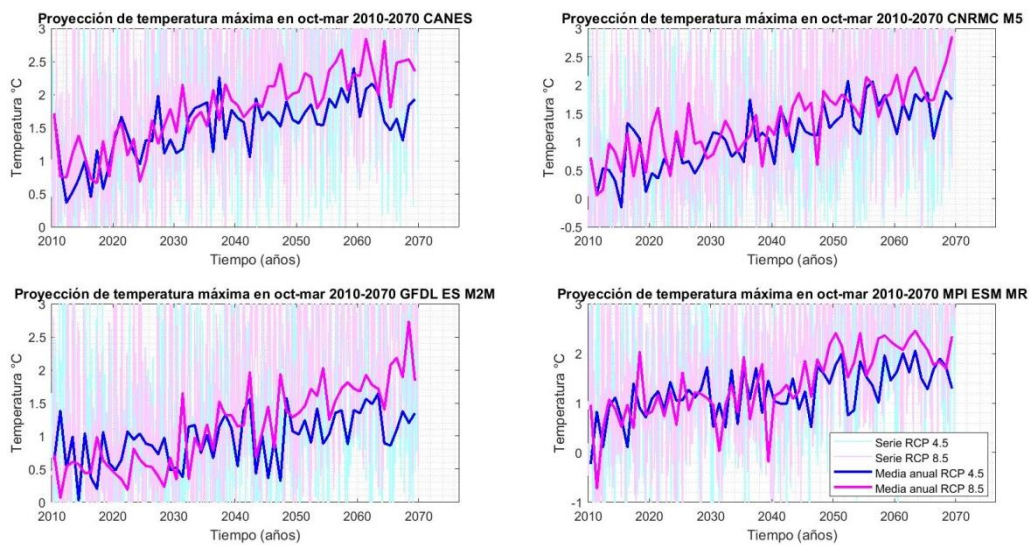


Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tanto para el periodo 2010-2040 como para el periodo 2040-2070, se observa una mayor evolución para la temporada fría, lo que implica un aumento mayor de temperatura con respecto a la climatología en otoño-invierno que en primavera-verano.

Considerando ambas temporadas, para el periodo 2010-2040 se puede observar una proyección de aumento de temperatura con valores comprendidos de entre 0,9 °C y 1,5 °C para el RCP 4.5 y de entre 1 °C y 1,5 °C para el RCP 8.5. En cambio, para el período 2040-2070 se percibe una diferencia importante entre los RCP: los valores pasan a ser de entre 1,6 °C y 2,4 °C para RCP 4.5 y de entre 2,2 °C y 3 °C para el RCP 8.5.

Figura 6. Evolución de la temperatura máxima en temporada cálida

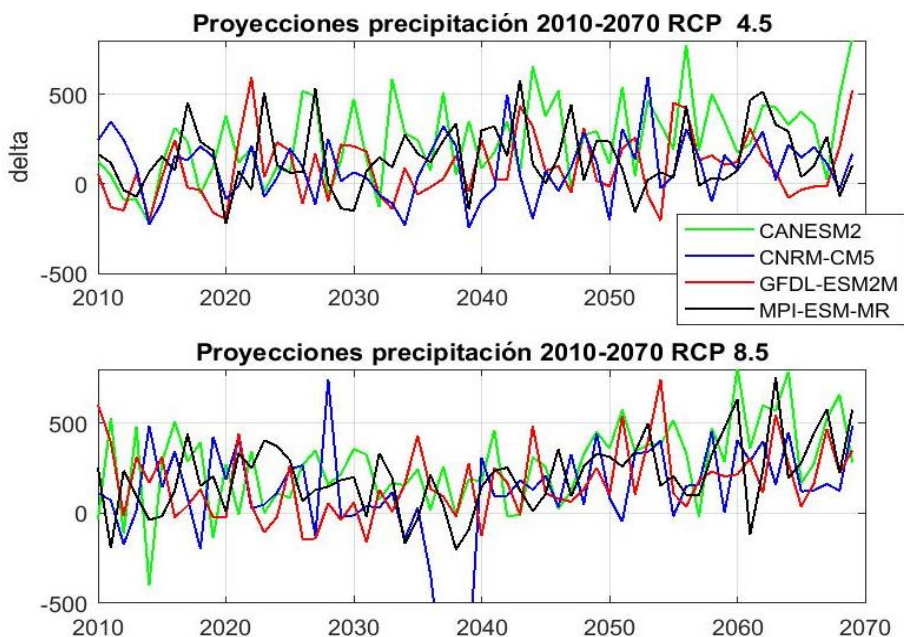


Fuente: Elaboración propia, 2018.

En el período 2010-2070, la amplitud térmica de la temporada cálida parece mantenerse, mientras que en la temporada fría la temperatura máxima parece aumentar más que la temperatura mínima tanto para el RCP 4.5 como para el RCP 8.5.

Para la variable precipitación anual acumulada, como se aprecia en la Figura 7, no se identifican cambios. Por esta razón, se realizó el estudio por temporada (Figura 8). Este análisis muestra que los cuatro modelos proyectan un aumento mayor en la temporada cálida que en la fría, independientemente del período o escenario. Cabe señalar que la disminución observada para el modelo CNRM-CM5 en el RCP 8.5 para el periodo 28/04/2036-14/10/2039 se debe a una falta de proyecciones cuyo motivo se desconoce.

Figura 7. Evolución de la precipitación con respecto a la climatología

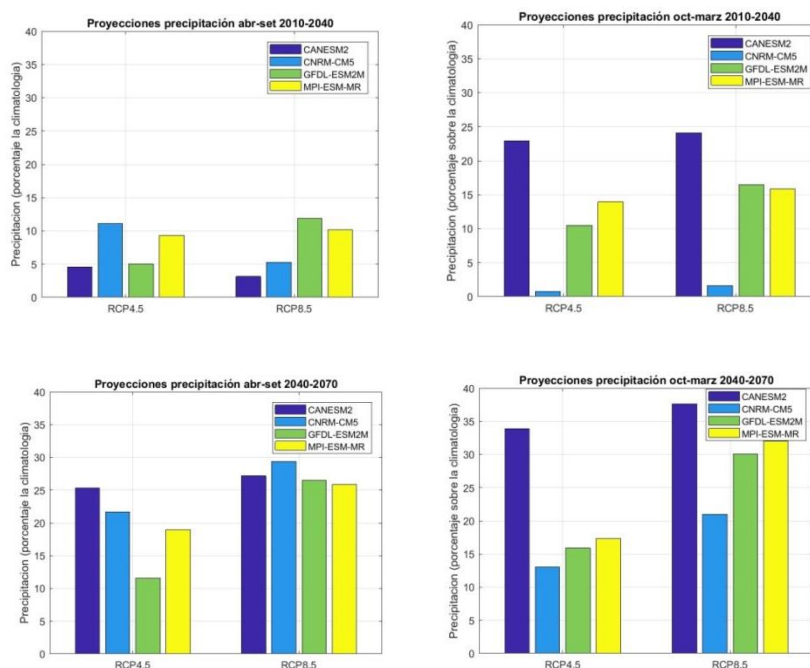


Fuente: Elaboración propia, 2018.

Con respecto a los escenarios, para el período 2010-2040 no se observa una diferencia considerable, mientras que para el período 2040-2070 se encuentran diferencias apreciables entre RCP 4.5 y RCP 8.5 en verano.

Si se comparan los resultados de cada período, se proyecta un mayor aumento en la precipitación para 2040-2070 que para 2010-2040, con una diferencia de entre 10 % y 20 % entre un período y otro.

Figura 8. Variación de la precipitación



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Al observar los resultados para la temporada fría, el aumento en el período 2010-2040 para ambos RCP se encuentra entre un 5 % y un 10 %, mientras que en el período 2040-2070 se muestran diferencias: para el RCP 4.5 se proyecta un aumento de entre un 10 % y un 25 % y para el RCP 8.5, de entre un 25 % y un 30 %.

En cambio, para la temporada cálida, el aumento en el período 2010-2040 en ambos escenarios se encuentra entre un 10% y 25%. Para el período 2040-2070 y RCP 4.5 se proyecta un aumento entre un 15% y 35% mientras que para RCP 8.5 se encuentra entre un 20% y casi un 40%.

3.2 Evolución de eventos extremos

Olas de calor

En la Tabla 2 se muestra la cantidad máxima del índice de olas de calor proyectadas para cada período y escenario, independientemente de la estación.

Tabla 2. Indicador de olas de calor por modelo, escenario y período, expresado en cantidad de ocurrencias

GCM	RCP 4.5 2010-2040	RCP 4.5 2040-2070	RCP 8.5 2010-2040	RCP 8.5 2040-2070
CMIP5-CANESM2	4	14	2	26
CMIP5-CNRM-CM5	3	6	5	9
CMIP5-GFDL-ESM2M	2	6	1	15
CMIP5-MPI-ESM-MR	2	4	3	5

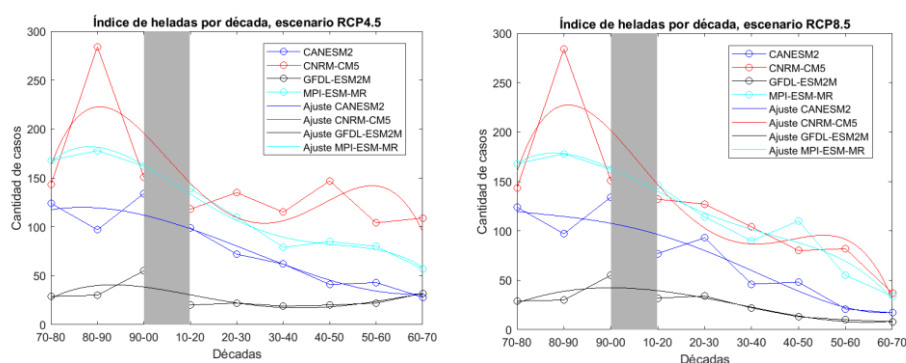
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Como se puede ver en la Tabla 2, en ambos RCP se observa un potencial aumento de ocurrencia de olas de calor para los cuatro modelos. Los distintos modelos muestran diferencias entre sí en la proyección de este índice.

Heladas agrometeorológicas

Con respecto a las heladas, en la Figura 9 se observa para todos los modelos una gran dispersión en las simulaciones históricas. Sin embargo, se aprecia en la mayoría de los modelos una oscilación hacia menor frecuencia de heladas. Esta proyección es consistente con los resultados reportados por De Mello (2013).

Figura 9. Heladas para los distintos modelos en todo el periodo



Nota: El trazo continuo representa el ajuste polinomial de orden 4, mientras que el marcado con «o» representa el resultado en bruto.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

No se aprecia una diferencia significativa entre los RCP 4.5 y 8.5, como se muestra en la Figura 9. Sin embargo, se puede observar una gran variabilidad entre los distintos modelos.

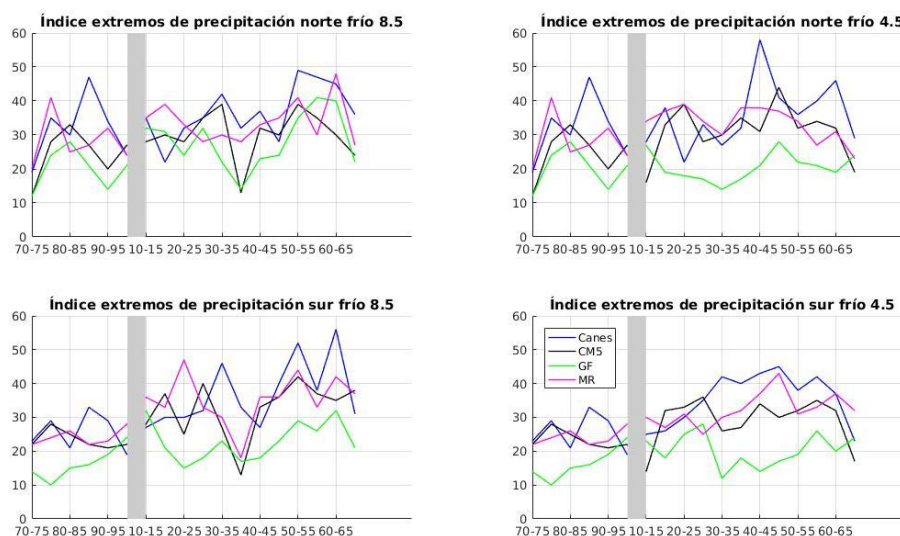
Eventos extremos de precipitación

Para el estudio de eventos extremos de precipitación se separaron las estaciones meteorológicas norte y sur y las temporadas cálida y fría. La Figura 10 muestra los resultados para la temporada fría de las dos regiones y los dos RCP, mientras que la Figura 11 representa

los resultados para la temporada cálida. Se puede apreciar que la cantidad de eventos con precipitación mayor que 20 mm presenta una leve diferencia entre el RCP 4.5 y el 8.5 para la temporada cálida en ambas regiones.

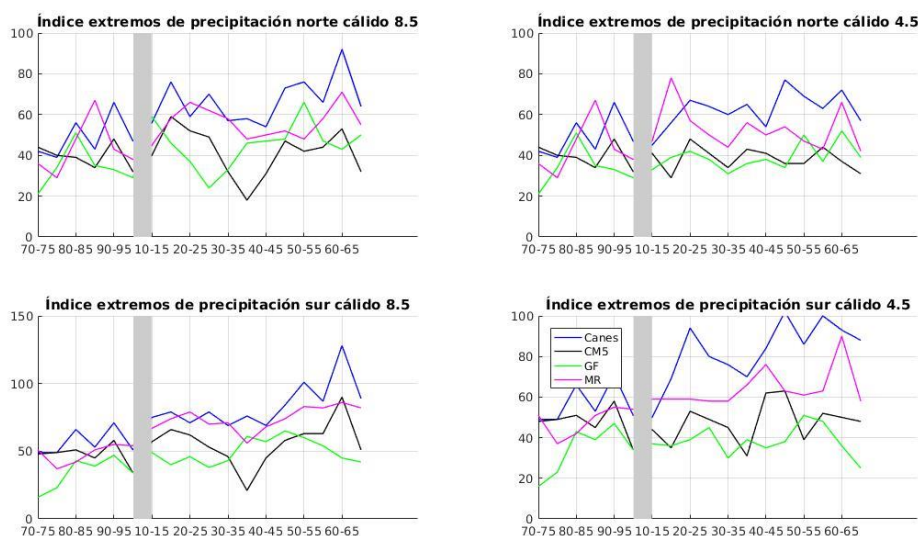
En particular es posible apreciar proyecciones de aumento en el corto y mediano plazo, con mayor aumento para el mediano plazo en la región sur. También se observa una mayor frecuencia para la temporada cálida, en la que se duplica la cantidad de ocurrencias del período frío.

Figura 10. Índice de extremos de precipitación para la temporada fría



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Figura 11. Índice de extremos de precipitación para la temporada cálida



Nota: Gráfico 1 Norte RCP 4.5; Gráfico 2 Norte RCP 8.5; Gráfico 3 Sur RCP 4.5; Gráfico 4 Sur RCP 8.5.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para comprobar si las tendencias observadas en el índice de precipitaciones extremas son estadísticamente significativas, se realizó el test Mann Kendall y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3. De ella se desprende que los resultados para el modelo CANESM2 son más extremos y con tendencia significativa en la mayoría de los casos. El modelo CNRM-CM5 es el que menos tendencia a cambios en las precipitaciones extremas parece proyectar.

En la tabla se observa que en la región Sur del país la posibilidad de que haya un aumento en la cantidad de eventos extremos puntuales de precipitación es mayor que en el norte para todos los modelos. También se observa que el RCP 8.5 da una tendencia más marcada que el 4.5.

Tabla 3. P-valores (Mann Kendall) de eventos extremos

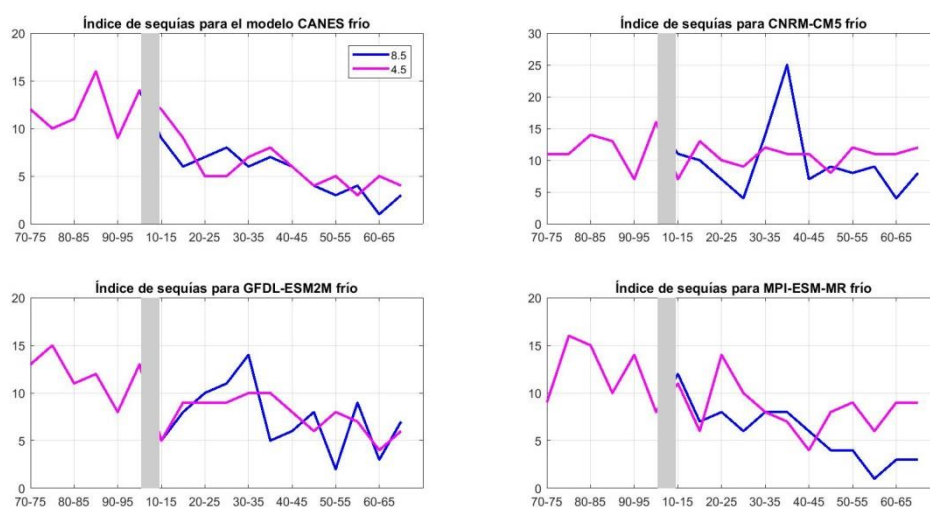
	CMIP5-CANESM2		CMIP5-CNRM-CM5	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Norte temporada cálida	0,01	0,01	0,47	0,90
Norte temporada fría	0,17	0,05	0,10	0,10
Sur temporada cálida	0,00	0,00	0,73	0,15
Sur temporada fría	0,01	0,00	0,11	0,01
	CMIP5-GFDL-ESM2M		CMIP5-MPI-ESM-MR	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Norte temporada cálida	0,06	0,04	0,47	0,05
Norte temporada fría	0,68	0,06	0,82	0,15
Sur temporada cálida	0,50	0,02	0,00	0,00
Sur temporada fría	0,05	0,01	0,00	0,01

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Déficit hídrico

En la Figura 12 y la Figura 13 se representa la cantidad de meses dentro de la franja correspondiente a déficit hídrico, agrupados cada 5 años para mejorar la visualización.

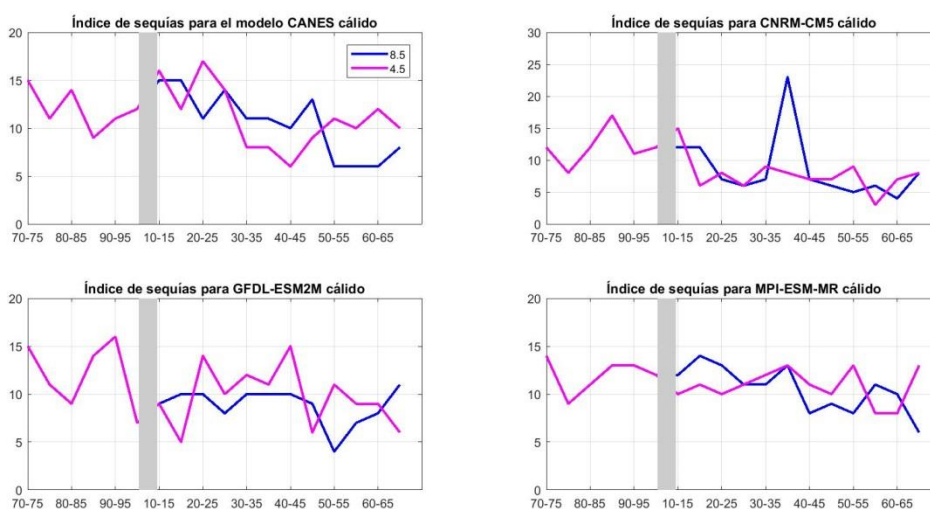
Figura 12. Déficit hídrico en temporada fría



Nota: En rosa aparece el RCP 4.5 y en azul el 8.5.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Figura 13. Déficit hídrico en temporada cálida



Nota: En rosa aparece el RCP 4.5 y en azul el 8.5.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tanto en la Figura 12 como en la Figura 13 se aprecia una disminución en la frecuencia de eventos de sequía, independientemente del modelo. Se observa que la frecuencia de déficit hídrico por mes cada 5 años, salvo algún caso particular siempre es inferior a los 15 casos. Cabe mencionar que se consideran meses secos y no periodos consecutivos. Se puede observar que no parece haber mucha diferencia entre los distintos escenarios salvo para algunos modelos en la temporada fría.

Se realizó el test Mann Kendall resultando que la temporada fría presenta una posibilidad de tendencia significativa mucho mayor que la cálida, para todos los modelos son significativos al

95% ($p \leq 0.05$) para ambos RCP. En la temporada cálida se podría afirmar para el RCP 8.5 al 90% todos los modelos indicarían una tendencia significativa. Los resultados para RCP 4.5 no son significativos (se encuentran p-valores entre 0.15-0.40).

4. Conclusiones

Para las temperaturas extremas, máxima y mínima, se observó una evolución significativa de aumento en las temporadas cálida y fría. Esta tendencia es más pronunciada en la temporada fría. A corto plazo no existe casi diferencia entre los escenarios, pero a mediano plazo se observa un mayor cambio en el RCP 8.5, lo que es consistente con su definición. A su vez, observando las proyecciones de precipitación se encontró un aumento para todos los casos, pero se distingue una diferencia entre las temporadas cálida y fría, con un aumento mayor para la cálida.

Si se comparan las proyecciones de temperatura mínima y máxima, se puede decir que la amplitud térmica en la temporada fría parecería ampliarse debido a un crecimiento mayor de la temperatura máxima respecto a la temperatura mínima.

Los índices de eventos extremos en general resultan de situaciones de aumento de temperatura. Se esperarían menos cantidad de heladas, más cantidad de olas de calor, proyecciones positivas de temperaturas máxima, mínima y media y precipitación. Al estudiar los eventos extremos de precipitación no se pudo llegar a conclusiones claras, aunque se observa un leve aumento en la región sur y más estabilidad en la región norte. En el caso de los eventos extremos puntuales de precipitación, se duplican los casos en la temporada cálida en comparación con la fría. El indicador de déficit hídrico utilizado refleja que podría darse una disminución de estos eventos, más acentuada en la temporada fría.

Para todas las variables climáticas estudiadas el modelo CANESM2 presenta las proyecciones climáticas más extremas y se puede utilizar como indicador de los peores escenarios esperables.

Bibliografía

- Bidegain, M. (2016). Escenarios climáticos futuros sobre Uruguay. Ponencia presentada en el *Símpoio Biodiversidad y salud. Especies exóticas invasoras*, Montevideo, 29 de agosto.
- Caorsi, M. L.; Cruz, G.; Terra, R.; y Astigarraga, L. (2018). Estudio de la variabilidad climática en la cuenca lechera del SW del Uruguay para el período 1939-2011. *Agrociencia Uruguay*, 22(1): 116-123.
- Chu, J. L.; Kang, H.; Tam, C. Y.; Park, C.K.; Chen, C. T. (2008). Seasonal forecast for local precipitation over northern Taiwan using statistical downscaling. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D12): D12118.
- De Mello, S. (2013). *Estudio climatológico y regionalización de heladas meteorológicas en Uruguay*. Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera. Facultad de Ciencias-Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.
- Downscaling Santander MetGroup (s/f). Sitio web. Disponible en:
<<https://meteo.unican.es/downscaling/intro.html>> [Consultado: 14 de diciembre de 2018].

- Feddersen H. U.; y Andersen, A. (2005). A method for statistical downscaling of seasonal ensemble predictions. *Tellus*, 57(3): 398-408.
- Frich, P.; Alexander, L. V.; Della-Marta, P.; Gleason, B.; Haylock, M.; Klein Tank, A. M. G.; y Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19(3): 193-212.
- Fundación para la Investigación del Clima (2019). *Descripción de la metodología de downscaling estadístico* [en línea]. Disponible en: <<https://www.ficlima.org>> [Consultado: 8 de marzo de 2019].
- Haylock, M. R.; Peterson, T. C.; Alves, L. M.; Ambrizzi, T.; Anunciação, M. T.; Baez, J.; Barros, B. R.; Berlato, M. A.; Bidegain, M.; Coronel, G.; Corradi, V.; García, V. J.; Grimm, A. M.; Karoly, D.; Marengo, J. A.; Marino, M. B.; Moncunill, D. F.; Nechet, D.; Quintana, J.; Rebello, E.; Rusticucci, M.; Santos, J. L.; Trebejo, I.; y Vincent, L. A. (2006). Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19(8): 1490-1512.
- Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) (s/f). Mapa de estaciones [en línea]. Disponible en: <<https://inumet.gub.uy/ServCli/mapasEstaciones>> [Consultado: 14 de diciembre de 2018].
- Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) (s/f). Mapa de precipitación media del Uruguay [en línea] Disponible en: <<https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas>> [Consultado: 14 de diciembre de 2018].
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (s/f). Report graphics [en línea]. Disponible en: <<https://www.ipcc.ch/report/>> [Consultado: 14 de diciembre de 2018].
- Renom, M. (2009). *Temperaturas extremas en Uruguay. Análisis de la variabilidad temporal de baja frecuencia y su relación con la circulación de gran escala*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Rojas, P. (2017). ¿Qué es un Modelo GCM-Modelos de Circulación General? [en línea]. Disponible en: <<https://www.ingeciv.com/que-es-un-modelo-gcm-modelos-de-circulacion-general>> [Consultado: 15 de marzo de 2019].
- USAID-ARCC (2014). *A review of downscaling methods for climate change projections*. Washington: USAID.
- Vincent, L. A.; Peterson, T. C.; Barros, V. R. ; Marino, M. B. ; Rusticucci, M. ; Carrasco, G. ; Ramírez, E. ; Alves, L. M.; Ambrizzi, T.; Berlato, M. A.; Grimm, A. M.; Marengo, J.A.; Molion, L.; Moncunill, D. F.; Rebello, E.; Anunciação, M. T.; Quintana, J.; Santos, J. L.; Baez, J.; Coronel, G.; García, J.; Trebejo, I.; Bidegain, M.; Haylock, M. R.; y Karoly, D. (2005). Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960–2000. *Journal of Climate*, 18(23): 5011-5023.
- Wilks, D. (2011). *Statistical methods in the atmospheric science*. Oxford: Academic Press.