

# ANÁLISIS COMPARATIVOS DE SERIES DE PRECIPITACIONES Y MODELOS DE CAMBIO CLIMÁTICO COMO HERRAMIENTA PARA EVALUAR RIESGOS GEOLÓGICOS

**Juan Antonio LUQUE (1), Marina CANTALEJO (2), Agustín MILLARES (2), Rosa María MATEOS (1), Oriol MONTSERRAT (3), Roberto SARRO (1), Cristina REYES-CARMONA (1), Eduardo PEÑA (1), María CUEVAS-GONZÁLEZ (3), José Pedro GALVE (2) y Anna BARRA (3)**

<sup>(1)</sup> Centro Nacional Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC).  
ja.luque@igme.es, rm.mateos@igme.es, r.sarro@igme.es, e.pena@igme.es, c.reyes@igme.es

<sup>(2)</sup> Universidad de Granada.  
marinacantalejoibaniez@gmail.com, mivalag@gmail.com, jpgalve@gmail.com

<sup>(3)</sup> Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC/CERCA)  
oriol.monserrat@cttc.es, maria.cuevas@cttc.es, anna.barra@cttc.es

## RESUMEN

*Las precipitaciones desencadenan deslizamientos, desprendimientos rocosos y, por supuesto, provocan inundaciones. Un buen conocimiento de los registros históricos de las precipitaciones deber ser un punto de partida para realizar evaluaciones de riesgos futuros ligados a eventos lluviosos. El cambio climático puede alterar los ciclos climáticos naturales. Este trabajo presenta un análisis comparativo preliminar de series de lluvia reales y series generadas de acuerdo con un escenario de cambio climático. Han sido identificados ciclos climáticos naturales estrechamente relacionados con riesgos geológicos (ENSO Y NAO). El análisis de todas las series ha sido llevado a cabo mediante métodos espectrales. Los resultados de este estudio preliminar muestran que las series de cambio climático generadas presentan unos gráficos espectrales muy diferentes respecto a las experimentales y que algunos ciclos no se registran o presentan poco peso estadístico desde el punto de vista del valor espectral.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Las precipitaciones generan deslizamientos, desprendimientos rocosos y, por supuesto, inundaciones, constituyen. Los eventos lluviosos extremos tienen una ocurrencia periódica (Luque-Espinar et al., 2017; Saaroni et al., 2012), vinculada especialmente a El Niño (ENSO) en diferentes partes del Mundo. El área mediterránea también está influenciada tanto por ENSO (Tramblay et al., 2013) como otros ciclos North Atlantic Oscillation (NAO) (Luque-Espinar et al., 2017; Xoplaki et al., 2012).

Además de los ciclos climáticos denominados ENSO y NAO, también se han descrito como Quasi Biennial Oscillation (QBO), ciclos climáticos ligados a las manchas solares, ciclo Hale y otros ligados a la actividad solar (Currie et al., 1993; Hoyt and Schatten, 1997; Hurrell, 1995; Labitzke et al., 1990; Lamb, 1972; Stuiver and Braziunas, 1989, entre otros).

En este contexto, un buen conocimiento y análisis de los registros históricos de las precipitaciones deber ser un punto de partida para realizar evaluaciones de riesgos futuros ligados a eventos lluviosos.

No cabe duda que en un contexto como el que ofrece el cambio climático, desde el punto de vista teórico, estos ciclos naturales pueden verse afectados, tanto en la variación de las frecuencias registradas hasta ahora, como en la intensidad de las precipitaciones ligadas a los mismos.

Este trabajo presenta un análisis comparativo preliminar de series de lluvia experimentales sin alterar, series completadas y series generadas de acuerdo con un escenario de cambio climático. En concreto, el escenario con el que se ha trabajado es RCP 8.5 (Representative Concentration Pathways). RCP 8.5 se trata del peor escenario posible relacionado con la presencia de gases de efecto invernadero con los que se trabaja en la actualidad. El análisis de todas las series ha sido llevado a cabo mediante métodos espectrales con el objetivo de determinar la presencia de ciclos climáticos, así como su confianza estadística.

En este trabajo han sido identificados ciclos climáticos naturales estrechamente relacionados con riesgos geológicos, siendo El Niño (ENSO) uno de los principales, aunque North Atlantic Oscillation (NAO) y los ciclos ligados a las manchas solares (sunspot) también presenta un peso importante. Los resultados de este estudio preliminar muestran que las series de cambio climático generadas presentan unos gráficos espectrales muy diferentes respecto a las experimentales y que algunos ciclos no se registran o presentan poco peso desde el punto de vista del valor espectral.

## 2. ZONA DE ESTUDIO Y DATOS EMPEADOS

La costa de Granada (Fig. 1) es abrupta, donde desembocan ríos que dan lugar a llanuras aluviales y deltas de diferente extensión y régimen de esorrentía. El clima es templado-cálido y las precipitaciones suelen ser escasas y de carácter torrencial. Las avenidas en estos cauces han llegado a superar los 5000 m<sup>3</sup>/s (octubre de 1973), ligadas a intensas precipitaciones superiores a los 400 mm en una hora. Todos los datos de precipitaciones se han recopilados para este trabajo se localizan en la costa de Granada. Esta zona es muy montañosa, con gran variabilidad espacial y temporal desde el punto de vista hidrológico y meteorológico, con cotas topográficas que varían entre el nivel del mar y más de 3000 m de altitud.

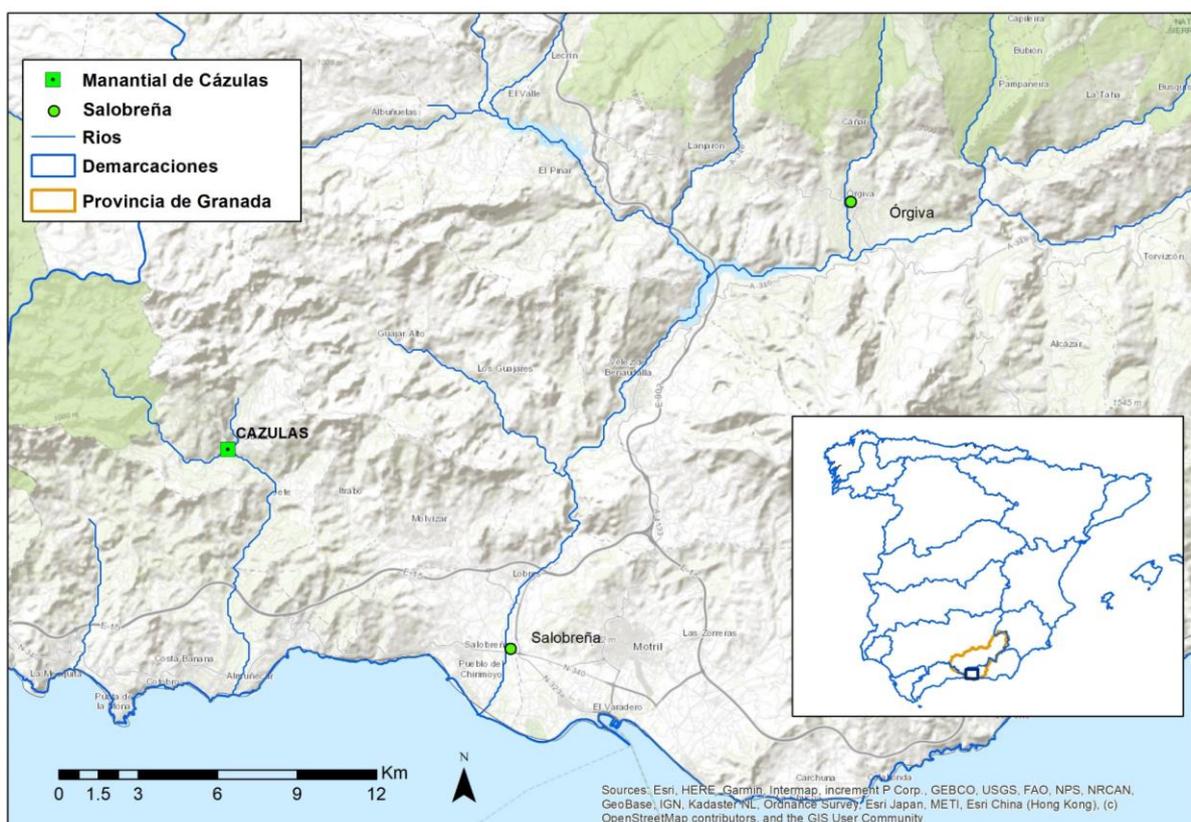


Figura 1. Localización de la zona de estudio, estaciones meteorológicas (Salobreña y Órgiva) y manantial.

En este trabajo se presenta un análisis previo de datos meteorológicos e hidrológicos de la cuenca del río Guadalfeo que tiene en cuenta series (Tabla 1) de lluvia real sin alterar (AEMET, Agencia Española de Meteorología), series completadas y series generadas de acuerdo con un escenario de cambio climático (CORDEX, Coordinate Regional Climate Downscaling Experimental), el escenario RCP 8.5 que representa el más desfavorable pues predice una reducción de las precipitaciones entre el 20% y 47%. En concreto, se comparan estaciones pluviométricas situadas en Salobreña (50 m s.n.m.) y Órgiva (498 m s.n.m.) más los caudales experimentales drenados por el manantial de Cázulas (160 m s.n.m.). Este manantial representa el drenaje principal del acuífero carbonático de la Sierra Cázulas. Estos datos del manantial tienen especial interés pues reflejan las lluvias caídas de muchos kilómetros cuadrados y, además, filtran el ruido de las precipitaciones de escasa cuantía, produciendo señales cíclicas más claras.

	SALOBREÑA					ÓRGIVA					CÁZULAS				
	FE	N	MI	MA	ME	FE	N	MI	MA	ME	FE	N	MI	MA	ME
ex	oc42-my13	25423	0	222	1.61	fe41-di12	24608	0	140	1.32	oc68-ma15	16135	0.01	16.45	0.28
co	en46-ma15	25286	0	123.4	1.18	en46-ma15	25286	0	140	1.32					
cc	2006-2100	34698	0.09	104.8	1.16	2006-2100	34698	0.08	123.5	1.30					

Tabla 1. Estadísticos de las series hidrológica estudiadas. FE: periodo estudio. N: nº de datos. MI: mínimo. MA: máximo. ME: valor medio. ex: serie experimental. co: serie completada. cc: serie de cambio climático RCP 8.5.

### 3. METODOLOGÍA

Existen diferentes técnicas matemáticas para el análisis espectral de una serie temporal. El uso de técnicas estadísticas para estimar componentes cíclicas en series temporales es bastante común en diferentes campos del conocimiento. Estas técnicas son conocidas como análisis espectral (Bras and Rodríguez-Iturbe, 1993). El análisis espectral estima la amplitud y la fase de cada serie temporal analizada. Así, la amplitud está relacionada con la varianza de la serie. La representación gráfica de la varianza frente a la frecuencia se conoce como densidad espectral.

La robustez de la metodología empleada en este tipo de análisis es muy importante. Por este motivo, en este trabajo se ha empleado la de Blackman-Tukey (Blackman and Tukey, 1958).

El estimador de la densidad espectral es:

$$\hat{S}(\omega) = \frac{1}{\pi} \left\{ \lambda(0)\hat{C}(0) + \sum_{k=1}^M \lambda(k)\hat{C}(k) \cos(\omega k) \right\} \quad (1)$$

$S(\omega)$ : es la densidad espectral estimada para la frecuencia  $\omega$ .  $C(k)$ : es la función de covarianza para el paso  $k$ ésimo.  $\lambda(k)$ : función de ponderación conocida como “lag window” y que sirve para ponderar con un menor peso los valores de covarianza para pasos  $k$  mayores y que son estadísticamente menos significativos.

El “lag window” utilizado en este trabajo ha sido el de Tukey:

$$\lambda(k) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos\left(\frac{\pi k}{M}\right) \right\} \quad 0 \leq k \leq M \quad (2)$$

$M$ : es el número de pasos de la función covarianza utilizados en la estimación de la densidad espectral.  $M$ , como máximo, puede valer  $N-1$ , donde  $N$  es el número de valores de la serie temporal.

Además, este análisis permite estimar la confianza estadística de cada ciclo determinado, 90%, 95% y 99%.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se comparan los resultados obtenidos en los tres tipos de series pluviométricas y los caudales drenados por el manantial. Los resultados del análisis espectral de las series experimentales muestran diferentes ciclos y valores de confianza estadística (Figura 2a-b). Debido a esto, sólo se tendrán en cuenta los ciclos con valores de confianza superiores al 95%. Los espectros obtenidos después de completar las series muestran algunas diferencias, destacando la reducción del número de ciclos y el valor de confianza estadística (Figura 2c-d). Los espectros de las series con un escenario de cambio climático muestran diferencias aún más significativas (Figura 2e-f).

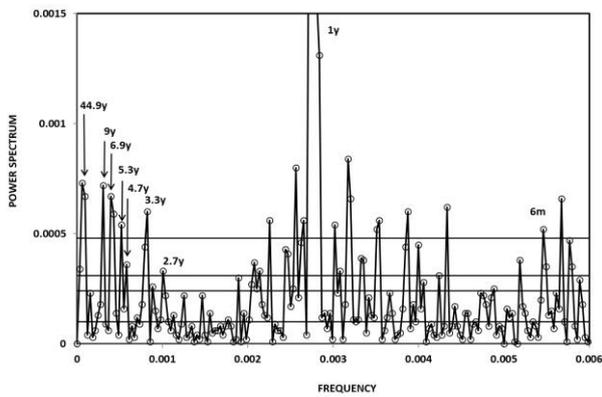


Figura 2a. Espectro de las precipitaciones registradas en Salobreña.

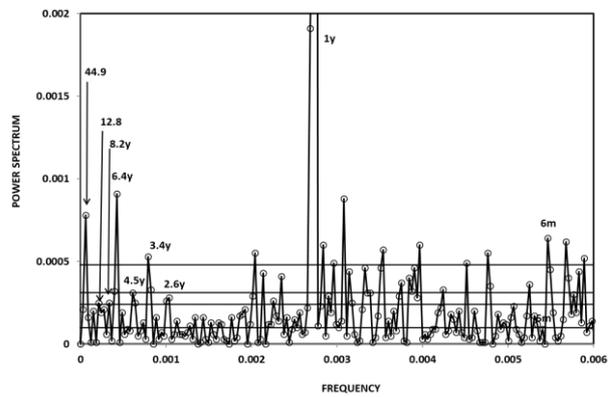


Figura 2b. Espectro de las precipitaciones registradas en Órgiva.

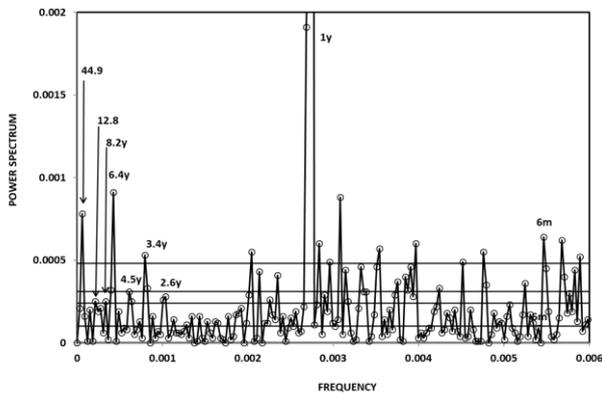


Figura 2c. Espectro de la serie temporal completada de precipitaciones de Salobreña.

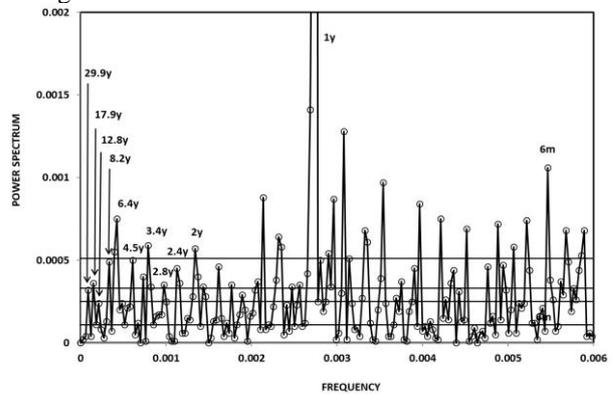


Figura 2d. Espectro de la serie temporal completada de precipitaciones de Órgiva.

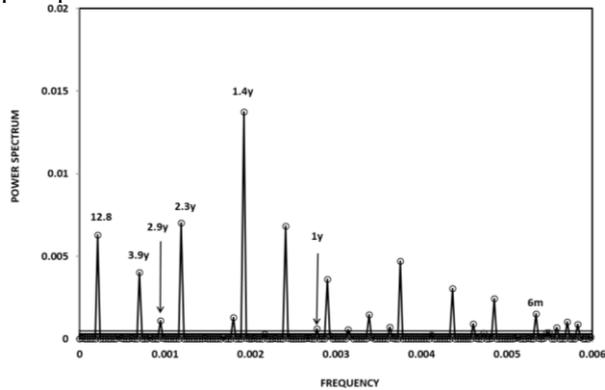


Figura 2e. Espectro de la serie de cambio climático de Salobreña completada.

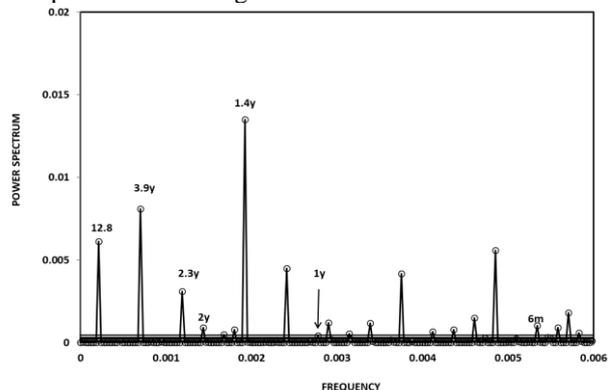


Figura 2f. Espectro de la serie de cambio climático de Órgiva completada.

Por último, se muestra el gráfico espectral de la serie de caudales del manantial de Cázulas (Figura 3).

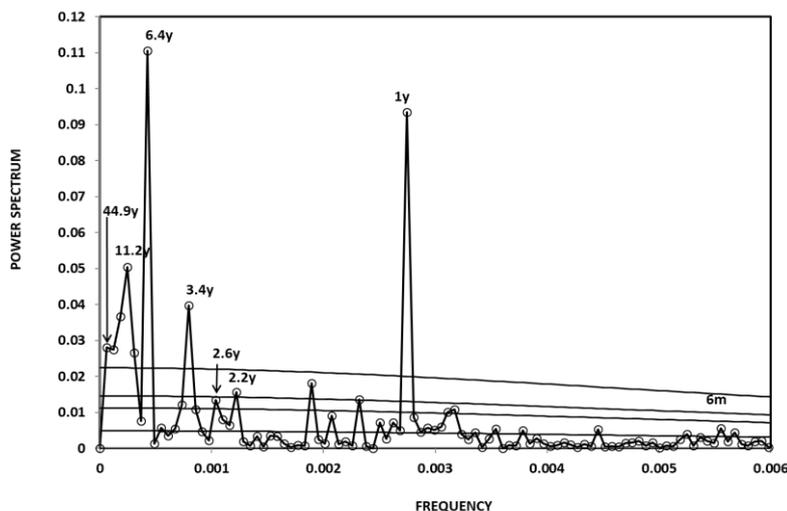


Figura 3. Espectro de la serie de caudales del manantial de Cázulas.

Los valores espectrales obtenidos en las series experimentales pluviométricas (Tabla 2) indican que el completado de las series genera cambios en los ciclos existentes, en el caso de Salobreña disminuye el número de ciclos en la completada y en Órgiva, la completada, muestra más ciclos. Cázulas, por otra parte, presenta dos ciclos bien definidos que no aparecen en las series anteriores con tanta claridad, 2 años y 11,2 años y todos muestran confianzas estadísticas superiores al 99%, menos el ciclo de 2 años. Por último, las series generadas en un escenario de cambio climático, todos los ciclos muestran confianzas estadísticas superiores al 99% para frecuencias similares. No obstante, los ciclos estimados muestran frecuencias medias y altas y diferentes a las obtenidas a partir de valores estimados. Un ciclo tan importante como el de 6,4 años, especialmente ligado a riesgos geológicos, no queda reflejado. Y los ciclos de 3,4 años y 11,2 años, también muy importantes, muestran desfases o retrasos en las series de cambio climático.

C	Salob exp		Órgiva exp		Salob com		Órgiva com		Cázulas		C	Salob cc		Órgiva cc	
	95%	99%	95%	99%	95%	99%	95%	99%	95%	99%		95%	99%	95%	99%
2								X	X		2				X
2,7	X						X				2,3		X		X
3,4		X		X		X		X		X	2,9		X		
4,7	X		X				X				3,9		X		X
5,3		X													
6,4		X		X		X		X		X					
9		X					X								
11,2										X	12,8		X		X
44,9		X		X		X				X					

Tabla 2. Resultados del análisis espectral.

Además de estas importantes diferencias, también hay que destacar que, a pesar de que las series del RCP 8.5 cuentan con más de 100 años de datos diarios de precipitaciones, la falta de ciclos superiores a 12,8 años transmiten la imagen de un clima muy estático y muy diferente al actual.

## 5. CONCLUSIONES

- El análisis espectral permite identificar los ciclos climáticos presentes en series hidrológicas, tales como ENSO, NAO o sunspot, y relacionarlos con riesgos tales como deslizamientos e inundaciones.
- Dada la naturaleza cíclica de estos riesgos, la predicción de dichos eventos más fiable a corto

y medio plazo la ofrecen las simulaciones de los ciclos estimados a partir de series experimentales. Las series experimentales ofrecen, como mínimo, ciclos con confianza estadística hasta 44,9 años, bien descritos en la literatura científica. Aunque en hay series en estiman ciclos de 89,8 años, relacionados con AMO que determina periodos más y menos lluviosos de menor frecuencia pero que sumados o restados a los de mayor frecuencia también influyen en las precipitaciones.

- Ciclos bien definidos como el solar (sunspot) o ENSO (6,4 años) no quedan reflejados en las series simuladas de cambio climático.

## REFERENCIAS

- Currie, R.G., Wyatt, T., O'Brien, D.P., 1993. Deterministic signals in European fish catches, wine harvest and sea level, and further experiments. *Int J Climatol*, 13:665–687.
- Hoyt, D.V., Schatten, K.H., 1997. *The role of the Sun in climate change*. Oxford University Press, Oxford, 279 pp.
- Hurrell, J.W., 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation, regional temperatures and precipitation. *Nature*, 269:676–679.
- Labitzke, K. and van Loon, H., 1990. Associations between the 11-year solar cycle, the Quasi-Biennial Oscillation and the atmosphere: a summary of recent work. *Philos Trans R Soc Lond*, 330:577–589.
- Lamb, H.H., 1977. *Climate: past, present and future climatic history and the future*, vol 2. Methuen, London.
- Luque-Espinar, J.A., Mateos, R.M., García-Moreno, I., Pardo-Igúzquiza, E., Herrera, G., 2017. Spectral analysis of climate cycles to predict rainfall induced landslides in the western Mediterranean (Majorca, Spain). *Nat Hazards*, 89(3): 985 – 1007.
- Saaroni, H., Toseti, A., Trigo, I.F., Vicente-Serrano, S.M., Yiou, P., Ziv, B., 2012. Large-scale atmospheric circulation driving extreme climate events in the Mediterranean and its related impacts. In: Lionello P (ed) *The climate of the Mediterranean region*. Elsevier, USA, pp 347–403.
- Stuiver, M., Braziunas, T.F., 1989. Atmospheric  $^{14}\text{C}$  and century-scale solar oscillations. *Nature*, 338:405–408.
- Tramblay, Y., El Adlouni, S., Servat, E., 2013. Trends and variability in extreme precipitation indices over Maghreb countries. *Nat Hazards Earth Syst Sci*, 13:3235–3248.
- Xoplaki, E., Trigo, R.M., García-Herrera, R., Barriopedro, D., D'Andrea, F., Fischer, E.M., Gimeno, L., Gouveia, C., Hernández, E., Kuglitsch, F.G., Mariotti, A., Nieto, R., Pinto, J.G., Pozo-Vázquez, D., Saaroni, H., Toreti, A., Trigo, I.F., Vicente-Serrano, S.M., Yiou, P., Ziv, B., 2012. Large-scale atmospheric circulation driving extreme climate events in the Mediterranean and its related impacts. In: Lionello P (ed) *The climate of the Mediterranean region*. Elsevier, USA, pp 347–403.