

EL CAMBIO CLIMÁTICO DEL III MILENIO A.C. Y EL COLAPSO DEL REINO ANTIGUO DE EGIPTO¹

Victoria Rosselló Botey
Meteoróloga y diplomada en Egiptología

El colapso de las sociedades antiguas ha producido una considerable fascinación a lo largo de los siglos. El ambiguo concepto ha sido aplicado a estados, naciones y sociedades complejas en el sentido de que dichas entidades surgen, florecen y eventualmente, se desintegran. Entre los factores que intervendrían en el proceso se hallarían la organización sociopolítica, la debilidad económica o las tendencias demográficas o medioambientales. La idea fue extendida en Occidente por Edward Gibbon, que con laborioso detalle atribuyó la caída del Imperio Romano al declive de la moral y a las invasiones bárbaras, aunque reconoció que el colapso de Roma no se podía separar de los procesos históricos que contextualizaban su tiempo².

La investigación reciente muestra una predilección por el cambio climático y la degradación medioambiental como agentes principales del cambio, en detrimento de la integración de disciplinas para estudio de procesos sociales complejos.

La vida geológica de la Tierra ha atravesado fases climáticas profundamente dispares. La retirada de la última glaciación que se inició con la época del Holoceno, hace unos 12.000 años, supuso un calentamiento progresivo de la Tierra. Entre 5.000 y 3.000 años A.C. las temperaturas alcanzaron el máximo del Holoceno, entre 1 y 2 grados por encima de los valores actuales: es el periodo conocido como el Óptimo Climático, durante el cual florecieron diversas civilizaciones. En África, el cambio climático supuso la progresiva aridificación del Sáhara, el incremento en la variabilidad de la crecida del Nilo y la disminución significativa del régimen pluviométrico anual. Estos cambios se relacionan con el surgimiento del nomadismo y de las migraciones en busca de recursos hídricos que se han vinculado al nacimiento civilización egipcia en el valle del Nilo. Entre los años 3.000 y 2.000 A.C. se produjo un súbito enfriamiento, y

¹ El presente trabajo es un resumen del trabajo de Fin de Diploma de Egiptología de la Universidad de València de Victoria Rosselló Botey, dirigido por el Dr. José Lull (2013) <http://www.pdf.investintech.com/preview/7d179424-fcf6-11e5-94e3-002590d31986/index.htm>

² BUTZER 2012

alrededor de 2.200 A.C., fecha que marca el final del Reino Antiguo y el inicio del Primer Periodo Intermedio (PPI), se registraron una serie de sequías intensas en Oriente Próximo y una serie de crecidas insuficientes del Nilo.

El objetivo de este trabajo consiste en hallar la relación entre el cambio climático que experimenta Egipto en el tercer milenio A.C. y el final del Reino Antiguo. Para ello se examinarán las teorías que admiten un grado u otro de influencia de las nuevas condiciones medioambientales en los acontecimientos históricos. Se evaluarán críticamente los datos y las metodologías para establecer el estado actual de la cuestión. Se revisarán los textos del PPI que tratan de la carestía de alimentos a la luz de los datos para tratar de determinar su historicidad.

El estudio de la influencia de los cambios climáticos en los eventos históricos es de una complejidad considerable y requiere de la interrelación de múltiples disciplinas. El problema principal de los estudios que tratan la cuestión es el enfoque metodológico: los datos arqueológicos y los textos egipcios se deben combinar con datos geológicos o medioambientales, pero es preciso tener en cuenta la naturaleza no concluyente de los *proxy data* puesto que, además, carecen de la resolución cronológica necesaria. La dificultad en la reconstrucción de series continuas de datos cuantitativamente válidas ya sea de los registros históricos de los niveles del Nilo, de los sondeos en sedimentos fluviales o marinos, de los registros de polen o de los datos del movimiento de las dunas, dota a las fuentes de una subjetividad que hace que sean susceptibles de ser utilizadas siguiendo ideas preconcebidas según sea la formación del estudioso.

Se pretende evaluar las fuentes como fuentes independientes, aunque a la limitación consustancial a los *proxy data* debemos añadir el gran problema de la carencia de una cronología absoluta, que impide disponer de suficiente resolución para permitir asociaciones concluyentes con los datos históricos. La cronología absoluta del tercer milenio no está resuelta, y hay un rango de error de unos 100 años para el Reino Antiguo y el PPI³.

La teoría de que una sequía intensa y simultánea en todo el Mediterráneo Oriental y zonas adyacentes causó el colapso de varias civilizaciones fue formulada por

³ KITCHEN 1991:202 estima una duración de 40 años para la VIII dinastía (2176-2136 A.C.) y 113 años a las IX y X dinastías (2176-2023 A.C.), que según SHAW 2000 duran 21 y 105 años respectivamente (2181-2055 A.C.) y según HORNUNG 2006, 32 y 138 años respectivamente.

primera vez en 1971⁴. Su autora databa la *primera edad oscura* entre el 2.200 A.C. y el final de la VI dinastía en Egipto. En ese momento y siguiendo el estudio, una sociedad muy estable habría caído en la anarquía al mismo tiempo en que caía el Imperio Acadio, y Biblos así como otros lugares del área sirio-palestina eran destruidos o abandonados. Troya II fue incendiada, y el sur y el oeste de Anatolia fueron afectados por una catástrofe que no tendría precedente hasta el final de la Edad de Bronce. La destrucción general fue acompañada de un declive de la cultura material, y los emplazamientos habitados disminuyeron considerablemente. Bell también incluía en este proceso el declive de la civilización del Valle del Indo. La teoría fue ampliamente aceptada⁵.

En 1994 tuvo lugar un encuentro internacional en Turquía en el que se revisó la hipótesis de Bell a la luz de las nuevas evidencias. Se hablaba de colapso, eclipse o de retroceso de civilizaciones dependiendo del grado de influencia del cambio climático en el devenir de los acontecimientos históricos⁶. En la década de los 90 también irrumpió con fuerza la hipótesis catastrofista: el colapso de civilizaciones lo habría causado el impacto de un NEO (*Near-Earth Object*) o de un cometa en la superficie terrestre, con una violenta alteración de las condiciones climáticas, incendios generalizados y emisión masiva de cenizas a la atmósfera.

En el otro extremo hallamos a los estudiosos que defienden que el abandono simultáneo de los asentamientos en el Mediterráneo Oriental en el tercer milenio A.C. se debió a un proceso adaptativo al nuevo entorno medioambiental: las estrategias de adaptación de la población no estarían supeditadas únicamente a las nuevas condiciones climáticas, sino que se daría una interrelación de diversos procesos que determinaría el cambio social.

El clima de Egipto

⁴ BELL 1971

⁵ Las crecidas bajas persistentes y la hambruna habrían sido críticas para precipitar el colapso político del PPI. La incidencia de la escasez de víveres se habría incrementado con el declive del gobierno central. Entre los autores que defienden la idea GRIMAL 1992: 139 y REDFORD 1992: 61

⁶ NÚZHET, KUKLA y WEISS 1997

El Nilo transcurre a lo largo de 6.671 km y se abastece de dos fuentes principales: las tierras altas de Etiopía y la Meseta Ecuatorial. La contribución de Etiopía incluye el Nilo Azul y el Atbara. El Nilo Blanco nace en el lago Victoria y otros lagos ecuatoriales, zona de elevada pluviometría. Los dos ríos, el Nilo Blanco y el Azul se unen en Jartum. El Nilo Azul proporciona el 86% del caudal anual del río.

En el Valle del Nilo que discurre entre Egipto y Sudán se pueden distinguir varios tipos de clima según la clasificación de Köppen: el de la costa mediterránea (BS, semiárido) en la zona del Delta, y el que afecta al curso del río, desértico (BW, árido)⁷.

La lluvia se genera en África por la entrada de masas de aire tropical marítimo procedente de los océanos Atlántico e Índico. El aire marítimo cercano al Ecuador se carga de humedad y forma el cinturón de aire húmedo de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ), que determina la zona de máxima precipitación. En julio, la ITCZ se desplaza hacia el norte del Ecuador en un movimiento estacional, y las montañas de Etiopía experimentan la estación lluviosa de julio a octubre cuando el húmedo flujo de viento del sur trae las lluvias. En la costa mediterránea la dinámica es diferente: el límite del aire cálido marítimo que se ha calentado recorriendo el Mediterráneo y el aire cálido y seco sahariano forman el frente mediterráneo, que es el responsable de las lluvias en la costa mediterránea egipcia en invierno.

La altura de la inundación anual del Nilo depende casi exclusivamente de la lluvia producida por el monzón del Océano Índico en el cauce del Nilo Azul y en la región de Atbara, en las montañas de Etiopía, con un porcentaje menor del Nilo Blanco. La lluvia depende de la ubicación de la zona de Convergencia Intertropical (ITCZ). Cuanto más septentrional sea, más húmedo es el Alto Egipto y mayor es la crecida del Nilo. El clima de Egipto ha variado substancialmente a lo largo de la historia.

Al inicio del Holoceno los registros geológicos y arqueológicos revelan que el Sáhara tenía una vegetación de sabana donde ríos y lagos hacían posible la vida humana y la salvaje. El Valle del Nilo probablemente estaba deshabitado⁸. El Gran Mar de Arena del desierto líbico contaba con una cubierta vegetal durante la primera mitad del Holoceno; incluso a la altura de Jartum el valle del Nilo estaría cubierto de una estepa arbórea. Lagos y wadis desembocaban en el río y había presencia de fauna mayor en

⁷ Pueden distinguirse también los subtipos árido montañoso y el árido marítimo: RUDLOFF 1981

⁸ KUPER; KRÖPELIN 2006

numerosas zonas. Entre 7.900 y 7.500 A.C. el Sáhara mantenía una flora y fauna abundantes de clima semihúmedo. La precipitación anual era como mínimo de 500 mm.

El Sáhara y el Sahel gozaban de largos periodos de humedad con numerosos lagos y zonas marismáticas, en la actualidad secos. En áreas hoy superáridas y recubiertas de dunas pastaba una fauna típica de sabana. Toda la región del Sahel desde el Atlántico al Índico estuvo intercomunicada por un sistema de lagos y ríos.

Entre 7.400 y 6.500 A.C., aunque la precipitación aún era mayor que hoy, se inició el cambio de tendencia hacia la aridez y se produjo un cambio en el régimen pluviométrico, con precipitaciones ocasionales e intensas que producían inundaciones locales. La pluviometría empezó a decrecer y se registró una disminución del nivel de la crecida anual del Nilo y de los niveles de los lagos.

El estudio de la distribución de los asentamientos alrededor del 6.000 A.C. y la correspondiente al 4.000 A.C. muestra un claro desplazamiento del Sáhara hacia el Valle del Nilo. Las lluvias regulares monzónicas dejaron de llegar al este de Sáhara y desaparecieron las condiciones de humedad suficientes en el sur de Egipto y norte de Sudán. La pluviometría anual siguió decreciendo entre los años 5.400 y 5.000 A.C.. La aridificación se incrementó rápidamente e hizo desaparecer la vegetación. Los wadis dejaron de tributar al Nilo, y las playas, que dependían del agua de lluvia, se secaron. Sin embargo el Nilo aún estaba sometido a un régimen húmedo, pues hasta el año 3.700 A.C. se registraron crecidas altas.

El proceso de aridificación creciente iniciado en el Holoceno es paralelo en el tiempo al proceso de creación del estado egipcio y culmina al final del Reino Antiguo. Entre 3.900 y 3.500 la fase húmeda finalizó y se produjo una agudización del proceso de desertificación. Siguieron abandonándose múltiples emplazamientos en el Sáhara mientras se intensificaba la agricultura en el Alto Egipto. La desecación final se produjo entre 3.400 y 3.000, y al sur de 23° de latitud Norte se halla escasa evidencia de ocupación humana alrededor de 4.000 A.C.

La sequía se hizo persistente. El caudal del Nilo comenzó a disminuir en 3.100 y hasta 2.500 A.C.⁹. Entre 2.400 y 2.000 se registraron crecidas del río extraordinariamente pobres como consecuencia del drástico descenso de las precipitaciones en el África ecuatorial. Durante el segundo milenio A.C. el Sáhara se convirtió en lo que es hoy.

⁹ HASSAN 1981

Las fuentes textuales

Alrededor de 3.300 A.C. los egipcios empezaron a registrar datos acerca de la crecida anual del Nilo. Entre mediados de julio y octubre tenía lugar la inundación en el Valle a causa de las lluvias causadas por el monzón en Etiopía. Las aguas alcanzaban su nivel máximo a mediados de agosto y el nivel del río permanecía estacionario a lo largo de 3 semanas¹⁰. A finales de octubre se retiraban las aguas y alcanzaban el nivel mínimo hacia mayo. El conocimiento de la crecida era de vital importancia, por lo que ingeniaron diversos métodos de medida. La serie más larga de medidas de que se dispone fue realizada en el Nilómetro de Roda, que registró anualmente durante 700 años la altura de la inundación entre los siglos VII y XV de nuestra era y hoy nos permite estudiar la tendencia a largo plazo de los niveles del Nilo (figura 1).

El estudio de las propiedades estadísticas de los datos registrados entre los años 622 y 1.284 confirma la no homogeneidad de la varianza, así como la determinación del punto de inflexión alrededor del año 720, que coincide con la construcción de un nuevo nilómetro¹¹. El comportamiento estacional se evidencia en toda la serie, y a partir de los datos del nuevo nilómetro se intercalan periodos de entre 100 y 150 años con promedios de crecimiento seguidos de otros con promedios de decrecimiento. Son llamativos los periodos de ruptura: crecimientos muy acusados como el que se observa alrededor del año 820 o decrecimientos como el del año 980.

¹⁰ HASSAN 2007a

¹¹ WITCHER et al. 2002

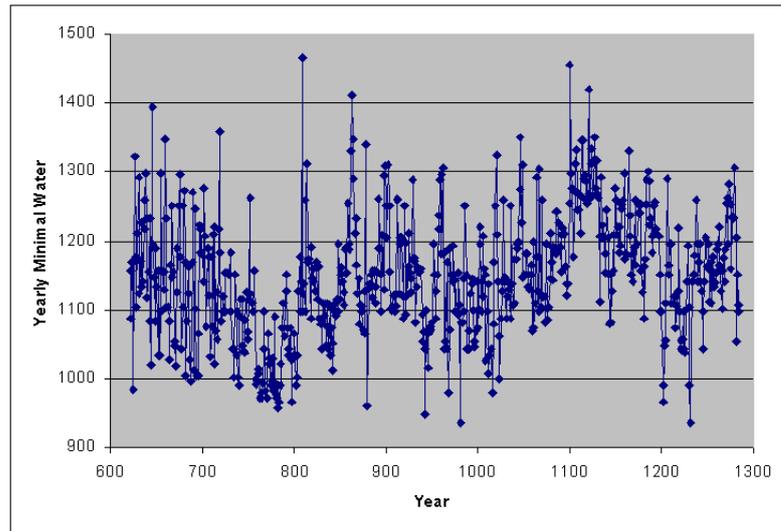


Figura 1. Serie temporal de registros de la altura del Nilo (años 662-1284)

Las crecidas demasiado altas eran conocidas desde la Antigüedad y tenían un impacto negativo: retrasaban la siembra, producían parásitos en los cultivos, epidemias entre la población, inundaban asentamientos y destruían los mecanismos destinados a controlar la inundación. Las inundaciones escasas causaban hambrunas, puesto que la escasez de limo hacía descender la producción agrícola. Plinio el Viejo habla de que una crecida de 12 codos causaba hambre, si llegaba a los 13 había escasez, 14 codos traían alegría, 15 seguridad, 16 abundancia y, si llegaba a 18, la catástrofe¹².

Los registros más antiguos de la crecida de los que se dispone se hallan en la Piedra de Palermo, que cuenta con datos de la altura de la inundación desde la primera dinastía hasta el principio de la V. Los datos se han representado en la figura 2. Si bien hay que tener presente que se trata de una serie temporal discontinua, se aprecia el descenso gradual de la inundación a lo largo del Reino Antiguo con una reducción de cerca del 50% a lo largo del periodo considerado. Los altos niveles de inundación en la I dinastía son seguidos de un descenso progresivo hasta mediados de la II dinastía, seguido de un periodo donde la inundación permanece constante hasta la V dinastía.

¹² *Historia Natural*, libro V, 58

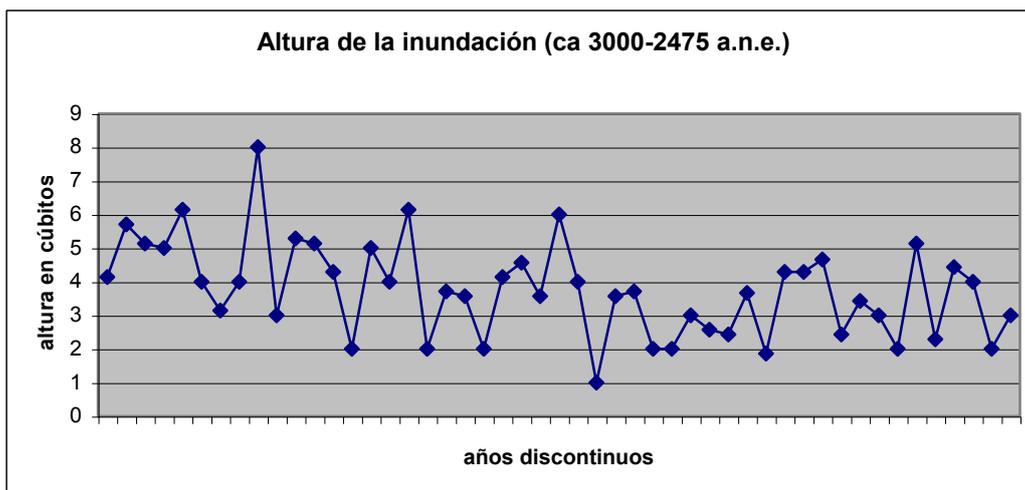


Figura 2. Evolución de la altura de la inundación según los datos de la Piedra de Palermo

Además de la información de la Piedra de Palermo y de los registros de la Capilla Blanca de Sesostris I en Karnak¹³, los datos arqueológicos surgidos de la excavación de la ciudad del Reino Antiguo en Elefantina han revelado nuevos datos acerca de la evolución de las crecidas. El estudio de la altura a la que fueron levantadas las construcciones de la isla en diferentes periodos del Reino Antiguo ha permitido estimar el nivel de la inundación en cada momento¹⁴. El periodo de ocupación habría sido máximo en la I dinastía y mínimo en la VI dinastía y en el PPI, como se ve en la figura 3.

| Periodo | Estimación de la inundación (metros sobre el nivel del mar) |
|--|---|
| Dinastía I (fortaleza) | 94,5 – 94 |
| Dinastía II (muralla ciudad) | 92,5 – 92 |
| Dinastía VI (asentamiento en la depresión) | 90,8 - 91,3 |
| PPI (asentamiento en la depresión) | 91,2 - 91,7 |

Figura 3. Alturas estimadas de la inundación según Seidlmayer (2001)¹⁵

¹³ LACAU y CHEVRIER 1956. En el reinado de Sesostris (ca 1950 A.C.) se consignan los registros del nilómetro de Elefantina, que midió 21 cubitos y 3 palmos y medio (aproximadamente 11,7 m), el de la “Casa de la Inundación” (situado cerca del Cairo), con 12 cubitos, 3 palmos y 3 dedos (6,5 m) y el de Diospolis, la ciudad más septentrional del Delta, que midió 6 cubitos, 3 palmos y 3 dedos (3,3 m).

¹⁴ ZIERMANN 1995; SEIDLMAYER 2001 citados por MOELLER

¹⁵ SEIDLMAYER 2001: 90 tabla 7

La evidencia arqueológica de Elefantina coincide con los registros de la piedra de Palermo, aunque desgraciadamente no hay registros de la VI dinastía. Los datos son verosímiles, pero la validez de los registros ha sido cuestionada. Como señala Breasted, las unidades en que se expresa la altura de la inundación arrojan una sombra de duda sobre la autenticidad de las mediciones: ¿era posible medir la altura en fracciones de dígito (un dígito = 1/28 de cúbito = 18mm)?¹⁶

La percepción de que los textos del PPI reflejan un periodo caracterizado por continuadas hambrunas ha estado presente en la historiografía desde el estudio de Vandier¹⁷ y ha sido utilizada como evidencia del cambio climático que tuvo lugar al final del tercer milenio. El corpus de textos relacionados con las hambrunas de Vandier ha sido recientemente ampliado por Moreno, quien ha planteado un enfoque muy distinto¹⁸. Desconocemos si los textos responden a una realidad histórica o si se trata de una cuestión literaria. Sin duda la crisis económica es el gran tema del periodo, pero habría que considerar hasta qué punto esta situación es exclusiva del PPI, puesto que el miedo a la hambruna originada por una crecida insuficiente del Nilo debió perseguir a los egipcios a lo largo de toda su historia. Seidlmayer piensa que los cambios medioambientales que sobrevinieron al finalizar la fase húmeda neolítica desembocaron en un proceso de adaptación a una crecida anual más escasa que no necesariamente alteró el curso de los acontecimientos históricos¹⁹. Moreno coincide en esta valoración y explica que la hipótesis de que la crisis climática habría desarticulado el sistema de irrigación, arruinado el Estado y provocado una gravísima crisis de subsistencia responde a la obsesión de los egiptólogos por la búsqueda de factores externos para la disgregación territorial que aconteció en el PPI²⁰.

Los textos del PPI presentan a primera vista una visión “realista”, ya que introducen precisiones de orden temporal (el año del hambre) o geográfico (la hambruna que afectó a una región particular), y por ello se tiende a considerarlos fuentes históricas. Sin embargo revelan una remarcable homogeneidad geográfica, cronológica

¹⁶ O'MARA 1996. Aún teniendo en cuenta que los anales del Antiguo Egipto no son fuentes históricas, sino que deben encuadrarse en su contexto religioso, no hay por qué rechazar que se refieran a hechos históricos, pues las pautas generales parecen plausibles y coinciden con la evidencia arqueológica. BREASTED 1907: 91

¹⁷ VANDIER 1936

¹⁸ MORENO 1997

¹⁹ SEIDLMEYER 2000: 173 y ss

²⁰ MORENO 1997: 181 y ss

y temática. Los precedentes ya se hallan en las autobiografías del Reino Antiguo que muestran al funcionario modélico y el tema habitual de socorro al hambriento²¹.

Que las hambrunas eran recurrentes es indiscutible: los estudios paleopatológicos proporcionan datos sobre las épocas de estrés nutricional y elevada mortalidad²² y su coincidencia con el surgimiento de plagas y epidemias²³. El problema radica en cómo determinar la veracidad histórica de los textos del hambre.

Ankhtify de Moalla fue un nomarca del tercer nomo del Alto Egipto a finales del PPI y en los muros de su tumba inscribió su autobiografía. Aparecen las frases tipo de las autobiografías de los funcionarios del Reino Antiguo, en las cuales se reafirma la autoridad moral del autor. *Di pan al hambriento y vestidos al desnudo; ungi a quienes no tenían aceites cosméticos; di sandalias al descalzo; le di una esposa a quien no tenía esposa*²⁴. El relato explica que a excepción de su nomo *todo el Alto Egipto estaba muriendo de hambre y la gente comía sus hijos; pero yo no permití que nadie muriera de hambre en este nomo*.

Las *Admoniciones de Ipuwer* (Papyrus Leiden I 344 *recto*) describen un Egipto en estado caótico de hambre, guerra y muerte. Dentro de llamada literatura sapiencial que florece con el advenimiento de la XII dinastía, el texto pertenece al género de las “lamentaciones”²⁵. El papiro es una copia del Reino Nuevo, pero se discute la fecha de la composición. Kemp considera que se trata de un texto del Reino Medio que describe un mundo en desorden que el rey debe restaurar²⁶. Breasted apunta al carácter profético del texto: el gobernante que acabe con el estado caótico de las cosas debe estar poseído por la antigua sabiduría²⁷.

Para el tema que nos ocupa, Hassan considera que el texto describe los hechos históricos que acontecieron en el colapso del Reino Antiguo, que sitúa entre 2.190 y 2.170 A.C.²⁸. *Ipuwer* realiza un detallado recuento de las circunstancias que llevaron al

²¹ MORENO 1997: 6 y ss

²² RICHARDS 2005

²³ CASANOVA 1994

²⁴ SHAW 2007: 172. HASSAN 2007a apoya la veracidad de la afirmación al encontrarse en textos medievales y posteriores.

²⁵ PARKINSON 2008: 25 y ss

²⁶ KEMP 2005: 66

²⁷ BREASTED 2007: 212.

²⁸ HASSAN 2007b: 365

rey a perder su autoridad. Sin embargo el detalle de las circunstancias que llevan al país al caos no impide poder considerar que se trate de una obra de ficción basada en el artificio de imaginar un mundo sin *maat*. Egipto está herido, la corrupción, la ruptura de la ley y el orden, la violencia, la envidia, la disolución de la moralidad han dejado el mundo en ruinas, se ha perdido la guía del pasado, *No existe el hombre de ayer* (II,2). *La palabra de los sabios huye sin demora* (II,14).

Los papiros de *Heqanakht* constituyen un archivo de cartas descubierto en una tumba de Tebas que data de inicios del Reino Medio. *Heqanakht* era un sacerdote funerario que tenía a su cargo un grupo de sirvientes y familiares. Las cartas revelan la búsqueda de una gestión eficiente de la hacienda y del bienestar de su entorno doméstico. Para el tema que nos ocupa cabe referirse a los párrafos de una de las cartas en que da cuenta de las dificultades que tenía que afrontar cuando la inundación el Nilo era insuficiente:

Por si estáis enojados por esto (el recorte de provisiones... Mirad, que se diga “hambre” para referirse al “hambre” de verdad. Mirad, aquí se ha comenzado a comer personas. (papiros de *Heqanakht*, carta II, verso, cols. 24-29)²⁹.

Heqanakht es un testigo único de su tiempo³⁰ pero hay autores que consideran que el texto está desprovisto de verdad histórica. Y que cuando *Heqanakht* alude a la distribución de raciones en el curso de la hambruna que azota el país, está exagerando para justificar el reparto desigual de raciones entre miembros de su entorno.

Las fuentes materiales

Los sedimentos del Delta del Nilo son *proxy data* para los cambios paleoclimáticos en Africa, ya que los cambios climáticos históricos quedan reflejados en las tasas de contribución del Nilo Blanco y Azul. El incremento en la proporción de sedimentos del Nilo Azul, el principal beneficiario de la actividad del monzón en las tierras de Etiopía, se relaciona con niveles bajos de la crecida como la acontecida entre 2.500 y 2.200 A.C. (a mayor incremento de sedimento del Nilo Azul, menor crecida)³¹. La relación entre los isótopos $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en los sedimentos es un marcador del cuarzo que aporta el Nilo Blanco, mientras el aporte del Nilo Azul y el cauce del Atbara desde las tierras altas etiópicas consiste en rocas volcánicas terciarias. Los índices de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y

²⁹ DIEGO ESPINEL 2009: 231-2

³⁰ O'NEILL 2012

³¹ KROM et al 2002

de Ti/Al en una columna de sedimento (*core*) bien datada del Delta, muestran una clara correspondencia con los cambios acontecidos en la crecida del Nilo a lo largo de 7.000 años.

En la figura 4 se representa el perfil de los índices de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, y en la barra de la derecha se distinguen cuatro patrones en el caudal del Nilo: el periodo 4 correspondería a un periodo de crecidas altas, en el 3 se habría producido un descenso progresivo de la crecida hasta un mínimo catastrófico entre 4.200–4.500 años antes del presente. El periodo 2 describe crecidas moderadas, y el 1 supone un decrecimiento en el nivel de la crecida hasta valores modernos. El mínimo histórico coincide con el final del Reino Antiguo.

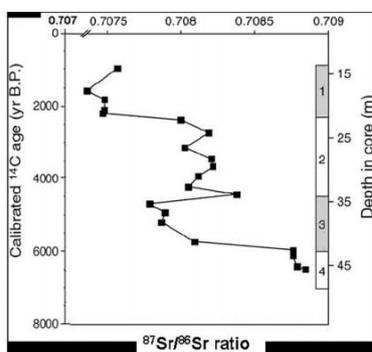


Figura 4. Perfil del índice $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ del *core* S-21 del Delta del Nilo (años antes del presente calibrados con ^{14}C)³²

Las lagunas y las divergencias en las cronologías de la Antigüedad son el principal escollo que tiene que superar la paleoclimatología. Por ello son decisivos los estudios que poseen alta resolución cronológica, ya que hacen de balizas en la línea temporal. El *core* del presente estudio ha podido ser datado con la técnica del radiocarbono³³.

La oscilación del nivel del lago Fayum a largo plazo informa indirectamente de las variación de las crecidas del Nilo, puesto que lo alimenta el Bahr el-Yussef, una rama subsidiaria del río. Los depósitos del lago Birket Qarun en Fayum proporcionan

³² GAWAD (2007)

³³ Las tablas de correspondencia entre las fechas calibradas y sin calibrar puede hallarse en <http://c14.arch.ox.ac.uk/embed.php?File=calibration.html>. *Grosso modo* las fechas calibradas antes del presente suponen restar 1.950 años.

una secuencia de la variación en la descarga del Nilo a lo largo de 10.000 años³⁴. La reconstrucción de la evolución del nivel del lago, basada en *proxy data* geológicos, se correlaciona satisfactoriamente con el caudal anual estimado del Nilo, que en esta ocasión se acopla con la posición de la ITCZ a lo largo del Holoceno simulada por el modelo climatológico de Bryson & Bryson³⁵. Hacia 3.500 A.C. se produce un declive en la altura media anual, y las crecidas del Nilo durante las I y II dinastías van descendiendo con una tendencia posterior a la disminución. Durante el PPI la crecida fue escasa, como indican los niveles del lago. El descenso del nivel del lago y la elevada evaporación supusieron un recesión intensa del mismo.

La cronología de las concentraciones de polen combinadas con las tasas de sedimentación de cada periodo permiten establecer periodos de sequía. El análisis de las secuencias de polen efectuadas en Burundi y Etiopía atestiguan una recesión considerable de la masa arbórea hace 3.650 años (calibrados con radiocarbono)³⁶. Este episodio seco también se documenta en las tierras altas de Uganda y en el lago Victoria. Sin embargo, como advierte Bottema³⁷, los registros paleobotánicos arrojan resultados muy diversos en relación al cambio climático del tercer milenio. Algunos sondeos de los lagos de Asia occidental indican un declive abrupto en el polen arbóreo ca. 2.200-1.950 A.C., y sin embargo no hay evidencia de sequía súbita o continuada en los registros de Oriente Próximo. La reducción en las lluvias anuales que se detecta en el norte de Mesopotamia pudo afectar únicamente a los cultivos anuales y no a plantas o árboles más longevos, según este autor.

Otro estudio más reciente se basa en un registro palinológico de 7.000 años del lago Burullus en el Delta del Nilo y permite documentar cambios en la vegetación del Delta que reflejan las variaciones en el caudal del Nilo³⁸. El autor sugiere que el polen de *Cyperacea* (junco) es un marcador válido para la precipitación registrada en la cabecera del río. Se registra una disminución del polen de *Cyperacea* junto a una relativa abundancia de carbón vegetal microscópico (los eventos de sequía se relacionan con un aumento de los incendios que quedan registrados con el carbón que producen).

³⁴ HASSAN 1997; BUTZER 1997

³⁵ BRYSON y BRYSON 1997. El modelo se basa en el cálculo de la irradiancia aplicando las estimaciones de Milankovitch y en un índice de vulcanidad basado en las erupciones datadas con radiocarbono para estimar el papel de los aerosoles en la atenuación de la luz solar. Se simulan la latitud de los ciclones subtropicales y del *jetstream*.

³⁶ BONEFILE et al. 1992 citados por HASSAN 1997

³⁷ BOTTEMA 1997

³⁸ BERNHARDT, HORTON y STANLEY 2012

Hace 4.200 años (calibrados con radiocarbono) se registra uno de los mínimos históricos.

El registro del isótopo O^{18} en los carbonatos es otro *proxy data* para la detección de cambios climáticos: las variaciones en la concentración del isótopo están relacionadas con variaciones en la precipitación y en los procesos locales de evaporación. Se puede comprobar en la figura 5 cómo ambos marcadores coinciden en señalar la fecha de 2200 A.C. como uno de los picos de sequedad del Holoceno.

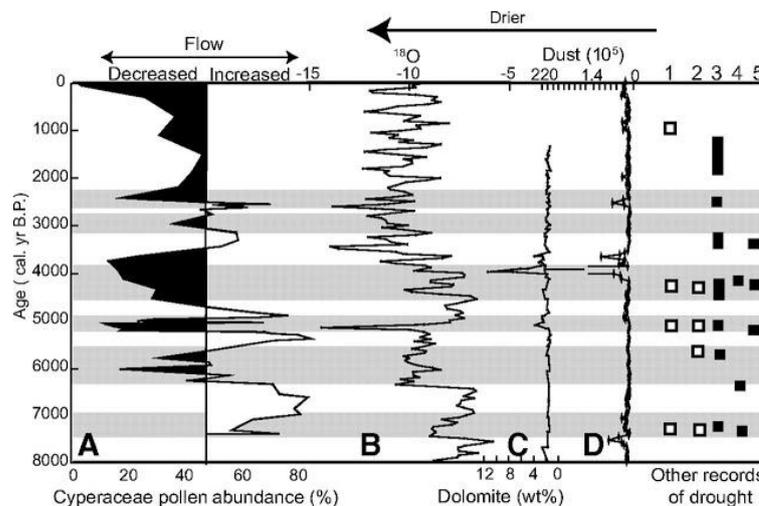


Figura 5. Alrededor de 4200 años antes del presente (calibrados con radiocarbono) coinciden los marcadores de polen de *cyperaceae*, el isótopo O^{18} , dolomita y polvo eólico

Teorías

1. Cambio climático global en el tercer milenio A.C.

Ya se ha visto que la variación estacional de régimen pluviométrico en el África ecuatorial depende del desplazamiento anual de la ITCZ; cuando avanza hacia el norte se producen las lluvias más cuantiosas en el Sáhara.

Un cambio global en la dinámica atmosférica estaría relacionado en primera instancia con este mecanismo: se cree que en el Holoceno temprano la ITCZ se llegó a desplazar hasta 500 y 600 km al norte. El desplazamiento posterior hacia el sur dio como resultado unas crecidas progresivamente más escasas a medida que disminuía la pluviometría en la cabecera. La sequía afectó a todo el Sahel, y el nivel de los lagos de Etiopía y África ecuatorial descendió. La reducción progresiva del caudal del Nilo

habría desembocado en el colapso del gobierno central de Egipto alrededor de 2.200 A.C. según algunos autores³⁹.

Las lluvias del monzón varían cada 11.500 años, que es la mitad del tiempo en que se completa la precesión de los equinoccios en fase con el forzamiento solar orbital, de manera que la advección húmeda del atlántico sobre África es mayor cuando el gradiente solar es máximo⁴⁰. El análisis de un *core* datado con alta resolución en el margen del Nilo ha permitido reconstruir las fluctuaciones del río a los largo de 100.000 años, y el hierro (Fe) ha resultado ser un marcador para el sedimento del Nilo Azul⁴¹. El registro de Fe es consistente con las dataciones de alta resolución en los lagos subtropicales africanos, con lo que se convierte en el primer registro continuo de la intensidad del régimen del monzón en Etiopía. Los resultados revelan dos periodos principales de máxima pluviometría relacionados con el reforzamiento del monzón; es uno de ellos el comprendido entre 14 y 8 ka antes del presente (calibrados con radiocarbono). El final de este periodo se produce 8.000 años antes del presente, mucho antes que en la región ecuatorial oriental africana, donde se registra hace 5.500 años. Se interpreta como una evidencia de la gradual migración hacia el sur del cinturón de lluvias ocurrida 3.000 años antes que en las tierras altas etíopes.

El estudio de un sondeo en el lago Bangong en el oeste del Tíbet proporciona un registro continuo climático del Holoceno de la zona⁴². Las conclusiones que se extraen acerca de la hidrobiología, la cubierta vegetal y el caudal del lago son comparables a las del vecino lago Sumxi: ambos muestran una tendencia a la aridez a partir de las condiciones húmedas y cálidas de hace 10.000 años, que culmina entre 4.000 y 3.000 años antes del presente. Los resultados coinciden con los estudios paleoclimáticos del oeste de China. Las fluctuaciones climáticas en el Tíbet Occidental parecen ir en fase con las acontecidas en el África tropical.

Entre las evidencias destaca un estudio que reconstruye la historia del monzón en Rajastan, con un máximo en el Holoceno temprano, seguido de un descenso brusco hasta el presente, registrándose largos intervalos de sequía en los últimos 4 milenios⁴³.

El registro sedimentario de la concentración de plancton en un *core* marino profundo en la zona de descarga del Indo en Pakistan arroja un pico hace 4.200 años

³⁹ HASSAN 1997

⁴⁰ VERSHUREN 2009

⁴¹ REVEL 2010

⁴² GASSE, F y VAN CAMPO, E. 1996

⁴³ BRYSON 1997

(calibrados con radiocarbono), lo que indica mayor concentración de agua salina debido a la disminución del caudal del Indo⁴⁴. Estos cambios se han relacionado con el abandono de asentamientos en el sur del Valle del Indo que muestra la arqueología.

Otro estudio sedimentario del lecho del marino cercano a la desembocadura del río Kalinadi, en el sudoeste de la India, muestra el descenso de polen arbóreo, la reducción del polen de los cultivos y el incremento simultáneo de polen de sabana a partir del año 4.500 antes del presente, con un máximo alrededor del año 3.500, coincidiendo con el final de la cultura de Harappa. Con tres marcadores independientes se ha detectado el progresivo descenso de la humedad a partir de esa fecha, aunque se desconoce si el motivo fue la disminución de la precipitación monzónica o el alargamiento de la estación seca⁴⁵.

En Rusia la evidencia muestra que entre 6.000 y 4.500 años antes del presente el clima era considerablemente menos continental que con posterioridad y que las franjas de estepa y de semidesierto actuales estaban cubiertas de bosques⁴⁶. A partir de 4.500 años el clima se aridificó en la estepa, como muestran los registros de polen, la evolución de los niveles de los lagos y los datos del suelo. Fue la más aguda de las oscilaciones climáticas registradas a lo largo del Holoceno. Grupos nómadas penetraron en los bosques de Siberia y del este de Europa al tiempo que las comunidades agrarias desaparecían en el sudoeste de Ucrania y Moldavia.

El análisis de alta resolución en China a partir del estudio de un isótopo de oxígeno en las estalactitas de una cueva del sur de la meseta tibetana, también parece indicar un periodo de menor humedad en esta época, próxima al 2.000 A.C., que coincidió con un colapso de la civilización neolítica en la región⁴⁷. Los registros de la cueva de Tianmen son acordes con el resto de la región asiática afectada por el monzón. Los registros de isótopos en sedimentos lacustres y en depósitos de turba confirman la sincronía con la región monzónica del clima en el Holoceno⁴⁸.

Los cambios en Europa son mucho menos espectaculares que en las regiones tropicales. Durante la segunda mitad del Holoceno se constatan ciclos de 1.500 años en el avance y retroceso de hielos a la deriva en el Atlántico así como avances y retrocesos de los glaciares alpinos. Se piensa que las variaciones de la intensidad solar juegan el

⁴⁴ STAUBWASSER 2002

⁴⁵ BENTALEB 1997

⁴⁶ KREMENTSKI 1997 en Rusia, GERASIMENKO 1997 en Ucrania

⁴⁷ WANG 2005 en China, citado por URIARTE 2012

⁴⁸ ZHANG 2011; CAI 2012

papel más importante en estos ciclos⁴⁹. Otros autores defienden que estas oscilaciones cíclicas son debidas a cambios en la circulación termohalina oceánica⁵⁰. En cualquier caso, la oscilación climática en Eurasia coincide con la fluctuación de la precipitación monzónica en el sur de Asia y es constatable en sistemas como ríos, lagos o ecosistemas diversos⁵¹.

Teorías

2. Cambio climático abrupto en el tercer milenio A.C.

Siguiendo la hipótesis de Bell, Courty y Weiss publicaron un estudio en 1993 que se convirtió en paradigma de los defensores del cambio climático abrupto y violento del tercer milenio Oriente Próximo y regiones adyacentes. Las muestras estratigráficas de los suelos analizados en las llanuras de Khabur al nordeste de Siria pertenecían tanto al contexto arqueológico como al natural⁵². Los registros señalaban una disminución de las transformaciones pedológicas, una intensificación del viento y una deposición de aerosoles ricos en partículas de sílice y esférulas cálcicas, todo ello indicativo de un evento de aridificación único en 8.000 años de cambios ambientales registrados en la zona. El inicio del episodio de cambio climático abrupto se relacionaba con la deposición de aerosoles ricos en sílice y otros materiales inusuales. La duración de unos 300 años del episodio eliminaba la posibilidad de que los aerosoles proviniesen de una erupción volcánica. Los cambios iban más allá de los efectos que ejercen sobre el suelo las sequías comunes en las regiones mediterráneas. El incremento del polvo atmosférico habría conducido a condiciones hostiles que limitaron y redujeron la producción agraria del norte de Mesopotamia. A la disminución prolongada y creciente de las lluvias se habría añadido el deterioro de la calidad del aire y la reducción de la radiación solar debida al aumento de la cobertura nubosa que condicionaron la producción agrícola. Los autores establecían una relación directa entre el cambio climático acontecido entre 2.200-1.900 A.C. y el colapso del asentamiento de Leilan II del Imperio Acadio.

Sin embargo la capa de cenizas determinante que aparecía en la estratigrafía, datada inicialmente alrededor de 2.200 A.C., se ha datado más recientemente a la luz de

⁴⁹ BOND 2001

⁵⁰ BROECKER 2003 En el Atlántico aumenta la concentración salina debido a la continua exportación atmosférica de vapor de agua al Pacífico. Este proceso intensifica la circulación termohalina en el Atlántico y la exportación vía marina de sal a otros océanos, lo que vuelve a desalinizar las aguas atlánticas y debilita la corriente.

⁵¹ STARKEL 1997

⁵² COURTY y WEISS 1997

nuevas evidencias alrededor de 2.350 A.C., lo que impide relacionarla con la caída del Imperio Acadio⁵³.

Otros estudios de alta resolución cronológica evidencian las condiciones meteorológicas más secas alrededor de 4.200 años antes del presente en el Próximo Oriente. Los *cores* realizados en el Golfo de Omán y el Mar Arábigo ofrecen un registro sedimentológico completo y señalan una marcada sequía entre 4.200 y 4.025 años antes del presente⁵⁴. El área recibe el polvo transportado por el viento desde Mesopotamia que se deposita en el lecho marino. La variación de las concentraciones de dolomita y carbonato cálcico da un máximo en 4.025 años calibrados antes del presente. Se ha establecido que los sedimentos terruginosos proceden de los montes Zagros. Las condiciones más secas y el incremento de la actividad eólica habrían favorecido su deposición.

En la intensidad de la sequía inciden los estudios en la llanura de Konya en Turquía, con un brusco cambio en la sedimentación entre 5.000 y 4.500 años antes del presente (datados por termoluminiscencia)⁵⁵, con una capa de 30 a 60 cm de arena eólica cubriendo el limo lacustre⁵⁶.

Otro aspecto que se ha relacionado con los cambios bruscos del final del Holoceno (ca. 3.800 años antes del presente hasta ahora) son las variaciones de la temperatura superficial del agua, especialmente la oscilación de la temperatura conocida como “el Niño” que tiene gran influencia en África tropical⁵⁷. Una serie de registros de alta resolución en el Delta ha permitido desentrañar la relación entre las oscilaciones climáticas y la ocupación humana. A escala orbital la hidrología y la sedimentación nilóticas obedecen al forzamiento solar, y el caudal del Nilo se ha modulado siguiendo el debilitamiento del monzón a causa del desplazamiento de la ITCZ, pero a escala inferior al milenio las principales fases de modificación de Delta van asociadas a la variabilidad de la oscilación de “El Niño”. Los periodos con gran actividad de “El Niño” actúan como vectores de cambio geomorfológico a escala regional, ya que

⁵³ <http://www.sis-group.org.uk/abstract/courty.htm>

⁵⁴ CULLEN y DE MENOCA 2000

⁵⁵ La datación por termoluminiscencia es otro método de datación de alta resolución, que tiene la ventaja respecto a las mediciones de radiocarbono de poder datar materiales de procedencia no orgánica que contienen minerales cristalinos. Se basa en la medición de la dosis de radiación acumulada en un material que se libera por calentamiento.

⁵⁶ KUZUCUOGLU 1997

⁵⁷ MALEY 1997

coinciden con grandes crecidas y aporte aluvial al Delta. Esta dinámica se acentúa con la ocupación del Valle a partir del predinástico. En la figura 6 se puede apreciar cómo los periodos con mayor frecuencia de eventos de “el Niño” se asocian a los de mayor pluviosidad y menor salinidad en el Delta.

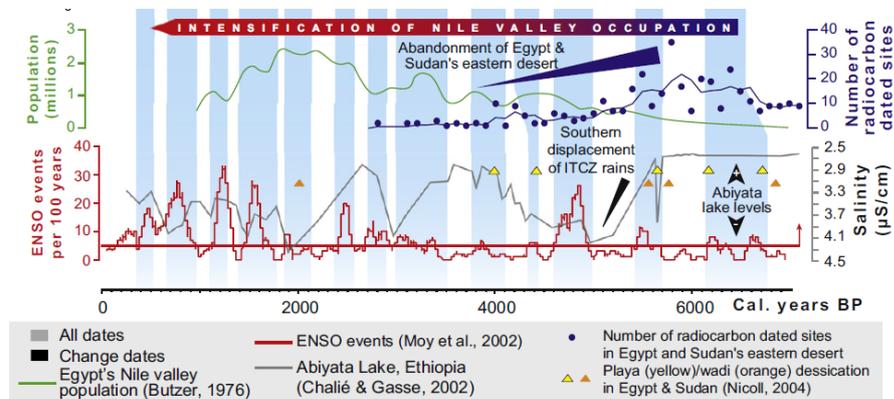


Figura 6. Relación entre frecuencia de eventos de “El Niño”, pluviometría, salinidad en el Delta, y población en el Valle (años calibrados con radiocarbono)⁵⁸

Entre 4.600 y 2.500 años antes del presente, la oscilación de “el Niño” se atenúa y deja de ser vector de la sedimentación fluvial. Este periodo corresponde al crecimiento de la actividad humana en el Valle. La transición de 4.600 años antes del presente está relacionada en las cronologías históricas con el inicio del Reino Antiguo con el primer año del rey *Netjerkhet* 4.617 años antes del presente (Shaw, 2000), 4.542 años antes del presente (Hornung et al, 2006) o 4.593-4.626 años antes del presente (años calibrados con radiocarbono) (Bronk-Ramsey et al. 2010).

Los datos *proxy* más favorables al cambio climático abrupto (centenares de años) son los registros de polvo eólico acumulado en los sedimentos marinos costeros (ver figura 7). Un estudio basado en una serie de sondeos en la costa noroeste africana que ha permitido reconstruir los cambios pasados en la circulación atmosférica y en la aridez de la región⁵⁹. Utilizando el decaimiento del uranio en torio-230 junto con una nueva técnica de criba del material biológico de las muestras, se demuestra que el Periodo Húmedo Africano empezó y acabó con cambios muy abruptos en los flujos de polvo, con un llamativo aumento de la deposición de polvo hace 11.8 ± 0.2 ka y 4.9 ± 0.2 ka.

⁵⁸ MARRIMER 2012

⁵⁹ McGEE 2013

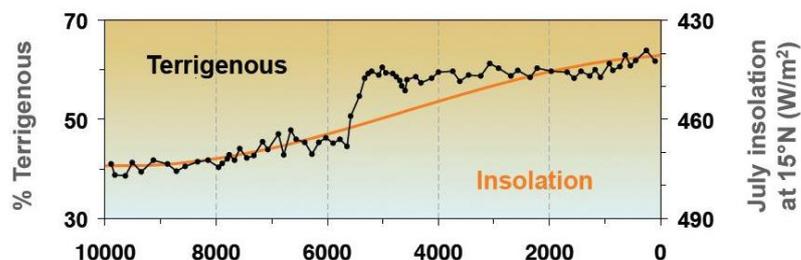


Figura 7. Core OPD 658, al oeste de Mauritania. Destaca el brusco aumento de sedimento terrigenoso hace 5.000 años (calibrados con radiocarbono)⁶⁰

En el apartado de las teorías del cambio climático abrupto en el tercer milenio hay que mencionar la que lo atribuye al impacto en la superficie de la Tierra de un cometa o un NEO (*near Earth object*)⁶¹ que habría causado un nivel de destrucción generalizado desde Egipto hasta el Valle del Indo. Cuando la ECT (*External Collapse Theory*) se introdujo por vez primera a finales de la década de los 80 se hablaba de un impacto que habría tenido lugar alrededor del año 2.300 A.C. (1994 SIS Conference). En la conferencia de 1997 la evidencia hacía pensar en dos eventos, uno más local, originado en Anatolia, alrededor de 2.300 A.C. y otro 150 años más tarde, entre el 2.200 y 2.190 A.C., de mayor alcance.⁶² El impacto de Anatolia habría causado terremotos desde Troya (IIg) hasta Siria y levantado tremendas ondas de calor con grandes cantidades de polvo arrojado a la atmósfera, humo y cenizas que habrían alterado drásticamente las condiciones meteorológicas. Se ha sugerido incluso que en el segundo de los choques, el objeto que impactó en la superficie terrestre se fragmentó en partes que impactaron en una franja de latitud alrededor de 30 grados N desde el Valle del Indo al Yangtzé en China, al estilo del cometa Shoemaker-Levy en Júpiter en 1994⁶³.

⁶⁰ DeMENOCAL 2000

⁶¹ Los NEOs comprenden una heterogénea variedad de objetos, desde cometas a objetos procedentes del cinturón de asteroides. Estudios recientes de la dinámica de estos astros muestran que sus órbitas son caóticas y que los cometas pueden evolucionar hacia órbitas similares a las de objetos calificados como asteroides y viceversa. El núcleo de esta tesis astronómica se basa en la asunción de que la Tierra habría sido periódicamente bombardeada durante el Holoceno por los restos de un cometa gigante. http://homepages.ihug.co.nz/~afs/nov97_1.html

⁶² <http://www.sis-group.org.uk/cambproc.htm>

⁶³ Timo Niroma <http://personal.eunet.fi/pp/tilmari/tilmari2.htm> Natural Catastrophes During Bronze Age Civilisations: Archaeological, geological, astronomical and cultural perspectives. A conference at Fitzwilliam College, Cambridge, 1997.

Teorías

3. Cambio climático ni global ni abrupto: cambio social

Un impacto de tales dimensiones habría tenido consecuencias planetarias, pero el problema de la cronología hace que la imprecisión de los métodos de datación de muchas de las evidencias arqueológicas o geológicas complique sumamente las correlaciones entre ellas.

La fecha de 2.200 A.C. es la que la evidencia material propone como pico del evento seco del tercer milenio, que habría devenido en colapso de culturas o abandono de asentamientos. Junto a la nueva datación del episodio de Tell Leilan, que imposibilita relacionarlo con el colapso del Imperio Acadio, hay que mencionar la mayor anomalía en el Mediterráneo: en Creta no solo no se produce colapso alguno, sino que surge la civilización palacial alrededor de 2.000 A.C.⁶⁴. Tampoco se percibe en el oeste de Mediterráneo el impacto de un cambio climático abrupto, ni aún global. Entre 2.500 y 1.900 A.C. la Península Ibérica atraviesa una fase cultural dinámica⁶⁵. Se aprecia que los asentamientos del este peninsular tienden a durar menos que los del oeste, con un clima atlántico más húmedo, pero esta distribución puede deberse a multitud de aspectos, culturales o de otra índole.

A la luz del amplio espectro de datos *proxy* paleoclimáticos, Butzer mantiene que no hay base para considerar un cambio climático global y que las evidencias que se aportan para el evento seco abrupto no son concluyentes⁶⁶. Los registros históricos sugieren que el colapso del Reino Antiguo no tuvo relación con las crecidas del Nilo, sino que estuvo condicionado por la descentralización, la debilidad dinástica y el florecimiento de diversos centros provinciales durante la sexta dinastía. El poder real, anclado en el monopolio comercial con Siria, fue cercenado alrededor de 2.300 A.C. por la conquista acadia de Biblos. El Bronce temprano habría funcionado como una red político-económica, con una serie de subsistemas desde Iberia hasta el Indo, donde el cambio climático sólo puede ser considerado como una variable potencial de una red multidimensional y sistémica.

Respecto a la tesis de Courty y Weiss, numerosos autores han destacado que la arqueología indica procesos más complejos que una simple aridización del clima. Los

⁶⁴ MANNING 1997

⁶⁵ LILLIOS 1997

⁶⁶ BUTZER 1997

cambios en emplazamientos urbanos parecen seguir diferentes patrones en la zona de estudio: mientras algunos en el nordeste de Siria son abandonados, otros prosperan⁶⁷. No existe una relación lineal entre los cambios climáticos, el uso de la tierra y los asentamientos: Wilkinson llega a hablar de la resiliencia de la sociedad en Mesopotamia frente a los cambios medioambientales⁶⁸. Un estudio arqueobotánico de tres emplazamientos sirios ha permitido la consideración de la práctica agraria y la adaptación agrícola a cambios tales como la deforestación o la sobreexplotación de la tierra cultivada debido al incremento de población al inicio del tercer milenio⁶⁹. Miller defiende que no hay evidencia de que la deforestación sea resultado de una sequía intensa, sino que tiene que ver con un proceso de adaptación de las técnicas agrícolas a las nuevas condiciones climáticas. En relación al abandono de asentamientos que proliferan al inicio del tercer milenio en la región de Khabur, Hole señala que el deterioro de las condiciones climáticas tiene que ver tanto con la disminución de la precipitación absoluta como con las variaciones estacionales, que serían más cíclicas que relacionadas con un evento abrupto⁷⁰.

Respecto a la vulnerabilidad de las sociedades del Bronce en Oriente Próximo, Rosen señala que el cambio climático puede inducir, pero no determinar el colapso. No todas las sociedades fueron afectadas de la misma manera, no existe un modelo monolítico de civilizaciones que colapsan ante la sequía creciente, sino un mosaico de sociedades con respuestas heterogéneas y varios grados de adaptación o fracaso ante las nuevas condiciones ambientales⁷¹.

Conclusiones

Kukla afirma que a escala climática la evidencia de eventos abruptos siempre aparecerá, hayan ocurrido o no, y que es mucho más difícil probar que algo no ha ocurrido que lo contrario. Valga el comentario para ilustrar cuán lejos nos hallamos de comprender el clima del pasado. No podemos predecir el tiempo meteorológico a pocos días, y es muy posible que jamás podamos hacerlo, como demostró Lorenz.⁷²

⁶⁷ AKKERMANS y SCHWARTZ 2003

⁶⁸ WILKINSON 1997

⁶⁹ DJAMALI et al. 2009

⁷⁰ HOLE 1997

⁷¹ ROSEN 1997

⁷² Los modelos meteorológicos tratan de predecir el estado de la atmósfera a partir de unas condiciones iniciales virtualmente imposibles de saber (no se pueden conocer las condiciones –temperatura, humedad,

La incertidumbre se multiplica a escala climática: los modelos climáticos simulan interacciones entre la atmósfera terrestre, la hidrosfera, la criosfera y el relieve y arrojan proyecciones del climas futuros o pasados muy diversas entre sí. Aún así conocemos a grandes rasgos la historia climática de la Tierra. Se ha visto cómo se puede caracterizar el clima de Holoceno mediante datos *proxy* de los sondeos marinos, lacustres, glaciales y estalactitas. En concreto, para el tiempo y el lugar que nos ocupan, el Mediterráneo oriental, el oeste de Asia y la regiones adyacentes, se dispone de más de 60 registros paleoclimáticos de alta resolución para el periodo comprendido de 6.000 a 2.000 años antes del presente, que documentan una anomalía negativa en la ciclogénesis productora de lluvias en el mediterráneo oriental entre 4.2 y 3.9 ka antes del presente⁷³. Weiss, veinte años después del artículo que relacionaba el colapso del imperio acadio con el evento seco de Tell Leilan, afirma que las mismas cuestiones siguen ocupando a una nueva generación de arqueólogos, y reconoce que está por determinar si hubo una *megasequía* sincrónica en 4.2 ka antes del presente que forzara el abandono de las llanuras de Khabur, aunque ni la arqueología ni la epigrafía proporcionan causas alternativas.

Hay evidencias de cambio climático abrupto entre 4.200 y 3.900 años antes del presente en el norte de Mesopotamia, en el sudeste de Ucrania, en el Tíbet y en el Caribe, pero nada comparable se halla en los asentamientos del centro y norte de Europa, ni aún en Egipto. Por otra parte el corpus de datos palinológicos no apoya un cambio abrupto con amplitud de varias centurias y de significancia regional. Incluso si coincidieran los casos de aridez extrema que se documentan con el colapso de Leilan, la aridez del episodio quedaría circunscrita a la cuenca del Tigris-Eufrates. De hecho, el polen es el *proxy* menos favorable al cambio abrupto. Kröpelin en el estudio del *core* del fondo del lago Yoa, al nordeste del Chad, reconstruye a través del polen la transición gradual de la sabana al desierto: de árboles a arbustos pasando por hierba y finalmente a arena⁷⁴.

El polvo eólico es el *proxy* más favorable al cambio climático brusco, y el polen es el más opuesto. En el estudio mencionado de los sedimentos del lago Yoa,

presión- de todos y cada uno de los puntos que componen la atmósfera) mediante las ecuaciones que rigen el comportamiento de los fluidos. La atmósfera es un fluido calentado por el sol, su comportamiento es descrito por la ecuación de Navier-Stokes, sin resolver, –considerada uno de los 7 *problemas del milenio*, el *Clay Mathematics Institute* de Cambridge: www.claymath.org/millennium-, y para la que se aplican diversas aproximaciones. Lorenz demostró que las ecuaciones con las que se pretende modelar y predecir la evolución de la atmósfera llevan en muchos casos a soluciones caóticas LORENZ 1993.

⁷³ WEISS 2012

⁷⁴ KRÖPELIN et al. 2008

DeMenocal halla evidencias de cambio brusco en la deposición de polvo en el fondo de lago, y Kröpelin argumenta que los datos están sobreinterpretados puesto que se trata de un sedimento lacustre y se desconoce lo que sucedía en tierra, donde la deposición de polvo no deja un registro claro. De la misma manera, DeMenocal argumenta que el polen pudo haber llegado de una zona del Sáhara distinta de las inmediaciones del lago. La cuestión sigue abierta y la historia climática del Sáhara sigue sin estar resuelta. Holmes sugiere incluso que no será posible especificar el tipo de cambio climático que experimentó el Sáhara porque no hay emplazamientos adecuados para nuevos estudios⁷⁵. Desconocemos la velocidad del cambio climático que se produjo a lo largo del Holoceno y las diferencias geográficas respecto a la velocidad de aridificación que acabó convirtiendo el Sáhara en desierto.

Los estudios suelen encajar los datos medioambientales con la evidencia arqueológica particular; y en general no existe una presentación de todos los datos disponibles y una valoración objetiva de los mismos. Y la principal dificultad para relacionar los acontecimientos históricos con el cambio climático, además de la dispersión y escasez de datos, es la sincronización entre las cronologías del Próximo Oriente y Egipto, que sigue sin resolverse completamente.

Se ha constatado cómo el abandono de una región o el declive de una civilización inducen a la explicación climática, cuando parece más plausible que en el proceso intervengan una combinación de factores, una complejidad de causas y mecanismos y efectos de naturaleza social, tecnológica, económica, política y religiosa, con las peculiaridades diacrónicas y regionales que constituyen el valor de la historia en sentido pleno⁷⁶.

La crisis climática del tercer milenio es un hecho incuestionable, con reducción de precipitaciones y aumento de la aridez en muchas zonas del planeta que llevó a una crisis del rendimiento agrícola, conversión a una economía de pastoreo, movimiento de poblaciones nómadas y colapso de algunos estados palaciales. Pero la habilidad de los pueblos para adaptarse no debe ser subestimada. En Siria y Pakistán se dan evidencias de cambios en las prácticas agrícolas y en los modelos de asentamiento, pero no necesariamente de colapso de civilizaciones.

La revisión crítica de los datos disponibles relacionados con el cambio climático en Egipto muestra que no hay evidencia de una anomalía abrupta a corto plazo que

⁷⁵ HOLMES 2008

⁷⁶ LIVERANI 2012

hubiera podido producir el hundimiento del estado del Imperio Antiguo. Las tendencias de la inundación del Nilo sugieren un cambio a largo plazo hacia unas condiciones climatológicas más secas, asociadas al desplazamiento de la ITCZ y a la reducción de lluvias en la cabecera del Nilo. Los cambios culturales, económicos y políticos que caracterizan el PPI no parecen haber sido desencadenados por una catástrofe natural.

Respecto a los textos literarios, la literatura es esencialmente ahistórica, es ficción aunque se inspire en la realidad. Y aunque hagamos nuestra la aseveración de E. M. Forster a propósito de Alejandría, *only through literature can the past be recovered*, la subjetividad de los textos literarios que capturan la viveza del pensamiento de una época no permite que puedan tomarse como evidencia histórica⁷⁷.

Bibliografía

- AKKERMANS, M.G. y SCHWARTZ, G.M. *The archaeology of Syria. From complex hunter gatherers to early urban societies*, Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- BELL, B. The First Dark Age in Egypt, *AJA* 75 (1971): 1-26
- BENTALEB, I. et al. Monsoon Regime Variations During the Late Holocene in the Southwestern India. En: NÜZHET DALFES, H., KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 475-487
- BOND, G. et al. Persistent solar influence on North Atlantic Climate during the Holocene. *Science*, 294, 2001
- BOTTEMA, S. Third Millenium Climate in the Near East based upon pollen evidence. En: NÜZHET DALFES, H., KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 489-516
- BREASTED, H. *Ancient Historical Records I*, Chicago; University of Chicago Press, 1907
- BUCKLE, C. *Weather and Climate in Africa*, London: Longman, 1996
- BUTZER, K. Sociological discontinuity in the Near East C. 2200 B.C.E.: Scenarios from Palestine to Egypt. En: NÜZHET DALFES, H., KUKLA G. y WEISS H.

⁷⁷ PARKINSON 2008: 8

- (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 245-295
- BROECKER W.S. Does the trigger for abrupt climate change reside in the ocean or in the atmosphere? *Science*, vol 300, 2003: 1519–1522.
- BRYSON, R.A. Proxy Indications of Holocene Winter Rains in Southwest Asia Compared with Simulated Rainfall. En: NÜZHET DALFES, H., KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 465-474
- BRYSON R. A. y BRYSON R. U. High Resolution Simulations of Regional Holocene Climate: North Africa and the Near East. En: NÜZHET DALFES, H., KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 565- 593
- CASANOVA,G. Epidemie e fame nella documentazione greca d’Egitto, *Aegyptus* 64, 1984: 163-201-
- COURTY M.A. y WEISS H. The escenario of Environmental Degradadtion in the Tell Leilan Region, NE Syria, during the Late Third Millenium Abrupt Climate Change. En: NÜZHET DALFES, H.,KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 107-148.
- DJAMALI , M. et al. Vegetation History of the SE section of Zagros Mountains during the last five millennia, *Vegetation History and Archaeobotany*, 18, 2009: 123-136.
- GERASIMENKO, N.P. Environmental and Climatic Changes Between 3 and 5ka BP in Southeastern Ukraine. En: NÜZHET DALFES, H.,KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 371-398.
- GRIMAL, N. *The history of Ancient Egypt*, Oxford, 1992.
- HASSAN, F.A. Historical Nile Floods and Their Implications for Climatic Change. *Science* 212, 1981: 1142-1144.
- HASSAN, F.A. Nile floods ans political disorder in Early Egypt. En: NÜZHET DALFES, H., KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 1-23.

- HASSAN, F.A. Extreme Nile Floods and Famines in Medieval Egypt (AD 930 – 1500) and their Climatic Implications. *Quaternary International* 173–174, 2007: 101-112.
- HASSAN, F.A. et al The oxygen and carbon isotopic records in Holocene freshwater mollusc shells from the faiyum paleolakes, egypt: Their paleoenvironmental and paleoclimatic implications, En: Matthieu Ghilardi and Yann Tristant (eds.), *Geoarchaeology of Egypt and the Mediterranean: reconstructing Holocene landscapes and human occupation history* , 2012: 175-187.
- HOLE, F. Evidence for Mid-Holocene Environmental Change in the Western Khabur Drainage, Northeastern Syria. En: NÜZHET DALFES, H.,KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 39-65.
- HORNUNG, E. *Ancient Egyptian Cronology*, Leiden: 2006.
- KEMP, B. J. *Ancient Egypt: Anatomy of a Civilization*. London: Routledge, 2005 (2nd edition, 1st ed. 1989)
- KITCHEN, K. A. The chronology of Ancient Egypt. *World Archaeology* 23(1991): 201-208.
- KREMENTSKI, C. V. The late Holocene environmental and Climate Shift in Russia and Surrounding Lands. En: NÜZHET DALFES, H.,KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 351-369.
- KROM, M.D. et al Nile River sediment fluctuations over the past 7000 yr and their key role in sapropel development *Geology*, v. 30, 2002: 71-74.
- KUKLA, G. Was the Holocene Climate Uniquely benign or is the Eemian catching cold from the Reinforcement Syndrome Virus?. En: NÜZHET DALFES, H.,KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 699-710.
- KUPER, R. y KRÖPELIN, S. Climate Controlled Holocene Occupation in the Sáhara: Motor for Africa's Evolution. *Science* 313, 2006: 803-807.
- KUZUCUOGLU, C. et al. Environmental changes in Holocene Lacustrine Sequences from Karapınar in the Konya Plain (Turkey). En: NÜZHET DALFES, H.,KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 465-473.
- LACAU, P.y CHEVRIER,H. , *Une chapelle de Sésostris Ier à Karnak*. Le Caire, 1956.

- LEMCKE, G. y STURM, M. ¹⁸O and Trace Elements Measurements as proxy for the reconstruction of Climate Changes at Lake Van (Tukey): Preliminary Results. En: NÜZHET DALFES, H., KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 653-677.
- LILLIOS, K.T. The Third Millenium BC in Iberia: Chronometric Evidence for Settlement Histories and Socio-cultural Change. En: NÜZHET DALFES, H., KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 173-191
- LORENZ, E.N. *The Essence of Chaos*, Seattle: University of Washington Press, 1993
- MALEY, J. Middle to Late Holocene Changes in Tropical Africa and Other Continents: Paleomonsson ans Sea Sea Surface Temperture Variations. En: NÜZHET DALFES, H., KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 611-639.
- MOELLER, N. The First Intermediate Period. A time of Famine and Climate Change?, *Ägypten und Levante 15*, 2005: 153-167
- MORENO GARCÍA, J.C. Idéologie politique, culture palatine et mutation historique à la Première Période Intermédiaire: Une réinterprétation du mitif de la famine . En: *Études sur l'administration, le pouvoir et l'idéologie en Égypte, de l'Ancien au Moyen Empire*, Liège: Aegyptiaca Leoddiensia 4, CIPL, 1997:1-92,
- O'MARA, P.F. Was there an Old Kingdom historiography? Is it datable? *Orientalia 65*, 1996
- PARKINSON, R.B. *Voices from ancient Egypt*, London: British Museum Press, 2008
- PARRA, J.M. (coord.) *El Antiguo Egipto*, Madrid: Marcial Pons Historia, 2009
- POSSEHL G.L. Climate and the Eclipse of Ancient Cities of the Indus. En: NÜZHET DALFES, H., KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 193-243.
- REDFORD, D.B. *Egypt, Canaan and Israel in ancient times*, Princeton New Jersey, 1992.
- RICHARDS, J. *Society and Death in ancient Egypy: Mortuary landscapes in the Middle Kingdom*, New York: Cambridge University Press, 2005

- ROSEN, A.M. Environmental Change and Adaptational Failure at the End of the Early Bronze Age in Southern Levant. En: NÜZHET DALFES, H., KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 25-37.
- RUDLOFF, W. *World-climates with tables of climatic data and practical suggestions*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH., 1981.
- SEIDLMAYER. S.J. The First Intermediate Period (c.2160-2055BC) En: SHAW, I (ed.) *The Oxford history of Ancient Egypt*, Oxford: Oxford University Press, 2000:118-147.
- SEIDLMAYER. S.J. Historische und moderne Nilstände, *Achet. Schriften zur Ägyptologie*, Berlin 2001
- SERRANO, J. M. *Textos para la historia antigua de Egipto*. Madrid: Cátedra, 1993.
- SHAW, I. *Historia del Antiguo Egipto*. Madrid: La esfera de los libros, 2007 (ed. orig. The Oxford History of Ancient Egypt, Oxford, 2000)
- STARKEL, L. Environmental Changes in Central Europe. En: NÜZHET DALFES, H., KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 531-550.
- URIARTE, A. *Climas del pasado. Historia del clima de la Tierra*, 2012. e-book kindle.
- VANDIER, JACQUES *La famine dans l'Égypte ancienne*. Recherches d'archéologie, de philologie et d'histoire, 7. Cairo: Institut français d'archéologie orientale, 1936.
- WEISS, H. Late Third Millenium Abrupt Climate Change and Social Collapse in West Asia and Egypt. En: NÜZHET DALFES, H., KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 711-723.
- WILKINSON, T.J. Environmental Fluctuations, Agricultural Production and Collapse: A View from Bronze Age Upper Mesopotamia. En: NÜZHET DALFES, H., KUKLA G. y WEISS H. (eds.) *Third Millenium BC Climates Change and Old World Collapse*, Berlin: NATO ASI Series I, vol. 49, 1997: 67-106.
- WITCHER, BYERS, B., GUTTORP, S., PERCIVAL, D. Testing for Homogeneity of Variance in time series: long memory, wavelets and the Nile River *Water resources Research*, 38 (5), 2002

Webgrafía

- BERNHARDT, C.H. y HORTON, B.P. y STANLEY, J.D. Nile Delta vegetation response to Holocene climate variability *Geology*, 2012
<http://geology.gsapubs.org/content/early/2012/05/18/G33012.1.abstract>
(consultado en junio el 2013)
- BUTZER, K. Collapse, environment and society *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol 109, n°10, 2012
<http://www.pnas.org/content/109/10/3632.full#sec-13> (consultado en junio 2013)
- BUTZER, K. Urban geoarchaeology and environmental history at the Lost City of the Pyramids, Giza: synthesis and review *Journal of Archaeological Science*, volum 40, issue 8, 2013: 3340-3366
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440313000666>
(consultado en julio 2013)
- CAI, Y. et al. The Holocene Indian monsoon variability over the southern Tibetan Plateau and its teleconnections *Earth and Planetary Sciences, Volumes 335-336*, 2012: 135–144
<http://www.sciencedirect.com/science/journal/0012821X/335/supp/C;>
(consultado en agosto 2013)
- CÍLEK, V. , Diachronic development of the Lake of Abusir during the third millennium BC, Cairo, Egypt, *Quaternary Internacional*, 2012
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618211007178>
(consultado en julio 2013)
- COULON, L. Véracité et rhétorique dans les autobiographies égyptiennes de la Première Période Intermédiaire. *BIFAO 97*, 1997: 109-138
www.ifao.egnet.net/bifao/Bifao097_art_08.pdf (consultado marzo 2013)
- CULLEN, H.M. y DeMENOCA, P.B. Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence from the deep sea, *Geology*, 28, 2000: 379-382
<http://geology.gsapubs.org/content/28/4/379.abstract> (consultado en junio 2013)
- DeMENOCA P.B. et al. Coherent High- and Low-Latitude Climate Variability During the Holocene Warm Period, *Science*, vol 288, 2000:2198.
<https://www.ncdc.noaa.gov/paleo/pubs/demenocal2000/demenocal2000.html>
(consultado en agosto 2013)

- GASSE, F. Y VAN CAMPO, E., Environmental Changes in the Tibetan Plateau and Surrounding Areas *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* ,1996: 79–92
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0031018295000356>
 (consultado en agosto 2013)
- GASSE, F. Climatic patterns in equatorial and southern Africa from 30,000 to 10,000 years ago reconstructed from terrestrial and near-shore proxy data, *Quaternary Science Reviews*, Vol 27, 2008: 2316-2340
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379108002187?np=y>
 (consultado en junio 2013)
- GAWAD, J., Historical fluctuations of Nile flow: effects o the Old Kingdom of Ancient Egypt and sapropel deposition off the coast osf Palestine and Israel , 2007
<http://gwadi.org/sites/gwadi.org/files/NileDischarge.pdf> (consultado en mayo 2013)
- HASSAN, F.A. Droughts, Famine and the Collapse of the Old Kingdom: Re-reading lpuwer. En: HAWASS, Z. RICHARDS, J. (eds,) *The Archaeology and Art of Ancient Egypt*, El Cairo: Publications du Conseil Supreme des Antiquites de l’Egypte, 2007: 357-377
http://www.gizapyramids.org/pdf%20library/hassan_fs_oconnor.pdf (consultado en marzo 2013)
- HOLMES, J.A. How the Sahara became dry, *Science*, 9, 2008: 752
<http://www.sciencemag.org/content/320/5877/752.summary> (consultado en julio 2013)
- KRÖPELIN, S. et al. Climate-Driven Ecosystem Succession in the Sahara: The Past 6000 Years, *Science*, 2008:765
http://www.sfb806.uni-koeln.de/images/idoblog/upload/108/200805_Science_Kroepelin_et_al_cover_SOM_1.pdf (consultado en julio 2013)
- LIVERANI, M. Mutamenti climatici nell’antichità vicino-orientale e mediterranea
www.accademiadelle scienze.it/media/986 (consultado en marzo 2013)
- McGEE, D.M. y De MENOCAL, P.B., The magnitude, timing and abruptness of changes in North African dust deposition over the last 20,000 yr, *Earth and Planetary Science Letters*, Volumes 371–372, 2013: 163–176

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012821X13001817>

(consultado en septiembre 2013)

MARRIMER, N. et al, ITCZ and ENSO-like pacing of Nile delta hydro-geomorphology during the Holocene, Nick Marriner et al, *Quaternary Science Reviews* 45, 2012: 73-84
O'NEILL, B. The Papyri of Heqanakht and the Emergence of a Middle Class in Middle Kingdom Egypt, *Egyptological Journal Articles, Journal Edition* 5, 2012

http://www.academia.edu/2223389/The_Papyri_of_Heqanakht_and_the_Emergence_of_a_Middle_Class (consultado en agosto 2013)

RAZANAJO, V. La stèle de Gemenefhorbak (Caire JE 85932);: Dieux, fêtes et rites osiriens a Imet *Bulletin de l'institut français d'archéologie orientale* 106, 2006: 219-244

<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2708827> (consultado en junio 2013)

REVEL, M. 100,000 Years of African monsoon variability recorded in sediments of the Nile margin, *Quaternary Science Reviews, Volume 29, Issues 11–12*, 2010: 1342–1362

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379110000387>

(consultado en agosto 2013)

STAUBWASSER M et al. Climate change at the 4.2 ka BP termination of the Indus valley civilization and Holocene south Asian monsoon variability, *Geophysical Research Letters*, vol 30, 2002: 1425.

<http://iprc.soest.hawaii.edu/users/axel/Site/pubs/4.21.pdf>

THOMSON, L. Kilimanjaro Ice Core Records: Evidence of Holocene Climate Change in Tropical Africa, *Science, Vol 298*, 2002: 589-593

<http://researchnews.osu.edu/archive/kilicores.htm> (consultado en agosto 2013)

VERSHUREN, V. Half-precessional dynamics of monsoon rainfall near the East African Equator *Nature* 462, 2009: 637-641

<http://www.nature.com/nature/journal/v462/n7273/abs/nature08520.html>

(Consultado en agosto de 2013)

WEISS, H. Quantifying Collapse: The Late Third Millennium Khabur Plains En: WEISS, H. (ed.) *Seven Generations Since the Fall of Akkad*, Wiesbaden: Harrassowitz Verlag, 2012: 1-24.

http://leilan.yale.edu/pubs/files/seven_gens/Weiss-2012-Quantifying_Collapse_SEVEN_GENERATIONS_pp_vii-24.pdf (consultado en septiembre 2013)

World Meteorological Organization (WMO) y United Nations Programme (UNEP), 2001.

http://www.grida.no/graphicslib/detail/aridity-zones_a6d3 (consultado en junio 2013)

YLETYNEN J. Holocene Climate Variability and Cultural Changes at River Nile and Its Saharan Surroundings, Stockolms Universitet, 2009

<http://su.diva-portal.org/smash/get/diva2:400169/FULLTEXT01> (consultado en junio 2013)

ZHANG, J., Holocene monsoon climate documented by oxygen and carbon isotopes from lake sediments and peat bogs in China: a review and synthesis, *Quaternary Science Reviews, Volume 30, Issues 15–16*, 2011: 1973–1987

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379111001259>

(consultado en agosto 2013)