



El periodo húmedo africano y el arte rupestre sahariano

The African Humid Period and the Saharan rock art

Alonso, V.

Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. Arias de Velasco s/n
33005 Oviedo, España. alonsovictoria.uo@uniovi.es

Resumen

El arte rupestre sahariano, desconocido por los europeos hasta mediados del s. XIX, constituye una prueba tangible del cambio climático que afectó en tiempos recientes a la zona actualmente ocupada por el desierto del Sáhara. En la transición Pleistoceno-Holoceno, después de finalizar el último ciclo glacial, las variaciones orbitales reforzaron el monzón del verano en el norte de África, lo que produjo un desplazamiento de la ZCIT hacia el norte, aumentando la humedad y las precipitaciones en el Sáhara, con el consiguiente cambio en los ecosistemas. Posteriormente, hace unos 5000 años, la situación se invirtió, la ZCIT se desplazó hacia el sur y, como resultado, regresaron las condiciones desérticas al Sáhara. Aunque este último periodo húmedo del Sáhara (denominado Periodo Húmedo Africano) es el más conocido, la alternancia de aridez-humedad ya se había producido con anterioridad en numerosas ocasiones, probablemente desde el tránsito Mioceno-Plioceno. Los periodos húmedos, además de provocar la migración de las especies animales y vegetales, también favorecieron la dispersión de los homínidos hacia Asia y, desde ahí, al resto del planeta. Las pinturas y grabados rupestres realizados durante el último periodo húmedo reflejan no solo los cambios experimentados en la fauna, sino también algunos aspectos sociales e incluso individuales de los habitantes del Sáhara. La creciente aridez que se produjo al finalizar este periodo hizo que surgieran nuevos métodos de caza y algunos cambios sociales, como los ritos funerarios, dando lugar a construcciones parcialmente preservadas en la actualidad. El estudio de los yacimientos ya catalogados, y los continuos descubrimientos de otros nuevos, permitirían aumentar nuestro conocimiento sobre el Periodo Húmedo Africano. Sin embargo, además de por la propia fragilidad del arte rupestre, los avances se ven dificultados por la amplitud del territorio, la falta de infraestructuras y los problemas políticos y locales que impiden el acceso a algunas zonas.

Palabras clave: cambio climático; Holoceno; Sáhara; arte rupestre; migraciones humanas.



Abstract

Saharan rock art, unknown to the Europeans until the middle of the 19th century, is tangible proof of the recent climatic change that affected the region now occupied by the Sahara Desert. At the Pleistocene-Holocene transition, after the end of the last glacial cycle, orbital-forced strengthening of the summer monsoon in North Africa produced a northward shift of the ITCZ. This, in turn, increased precipitation and wetter conditions over the Sahara, creating a corresponding change in ecosystems. Later, ca 5000 years ago, climatic conditions reverted, the ITCZ moved southward and, as a result, aridity returned to the Sahara. This last Saharan humid period (known as the African Humid Period) is the best known of several probable periods that took place since the Miocene-Pliocene boundary, along a series of humidity-aridity alternations. Humid periods provoked the migration of animal and vegetative species, also favouring the dispersion of the hominids to Asia and, from there, to the rest of the planet. Rock paintings and engravings made by the Saharan hominid population during the last humid period reflect changes not only in the surrounding fauna but also in some of their social and individual characteristics. The increasing aridity at the end of this period triggered new hunting methods and social changes, like funerary rites, recorded by some preserved architectural remains. The study of the catalogued artworks and the discovery of new sites with paintings or engravings will allow an increase in the information about the African Humid Period. However, many difficulties have arisen in this task due not only to the fragility of the rock art, but also due to the vast size of the territory, the absence of infrastructures and the political and local problems that hinder access to some study areas.

Key words: climatic change; Holocene; Sahara; rock art; human migrations.

1. Introducción

En el norte de África se produjeron durante el Holoceno —un periodo generalmente considerado como climáticamente estable— grandes cambios, relacionados con las variaciones que experimenta la posición el eje de rotación terrestre, que trajeron consigo un aumento de la insolación (Prell y Kutzbach, 1987). Esto generó en el área del Sáhara una zona de bajas presiones que favoreció la penetración de los vientos cargados de humedad procedentes del golfo de Guinea y, por tanto, un aumento de las precipitaciones y una mayor disponibilidad de agua (deMenocal *et al.*, 2000). Como consecuencia, hubo importantes transformaciones en la vegetación y estas permitieron a las poblaciones animales —entre ellas las humanas— desplazarse hacia el norte, donde colonizarían zonas anteriormente despobladas (Manning y Thimpson, 2014).

Una vez finalizado este periodo húmedo, la zona ocupada actualmente por el desierto del Sáhara experimentó una progresiva aridez que quedó reflejada no solo en la vege-

tación, sino también en la distribución de la fauna salvaje y de nuevo en el desplazamiento de las poblaciones humanas que, en último término, vieron favorecida su neolitización (Wright, 2017). La necesidad de obtener alimento condujo a la domesticación del ganado vacuno y a la introducción desde Asia de ovejas y cabras, así como a la utilización del caballo, del burro y, finalmente, del camello, como animales de trabajo y de carga (Zerboni y Nicoll, 2019). En tiempos recientes, la aridificación del Sáhara favoreció la extensión del pastoreo y la aparición de la cultura faraónica en torno al Nilo (Kuper y Kröpelin, 2006), una fuente de agua alimentada desde la zona de los grandes lagos africanos (Nilo Blanco) y desde las tierras altas de Etiopía (Nilo Azul y río Atbara; Fig. 1).

El arte rupestre, pinturas y grabados ampliamente distribuidos por todo el norte de África (desde Mauritania hasta Yibuti), da testimonio de estos cambios en el clima al mostrar la fauna que poblaba entonces el Sáhara, el medio en el que esa fauna vivía, e, incluso, algunas características de los habitantes de

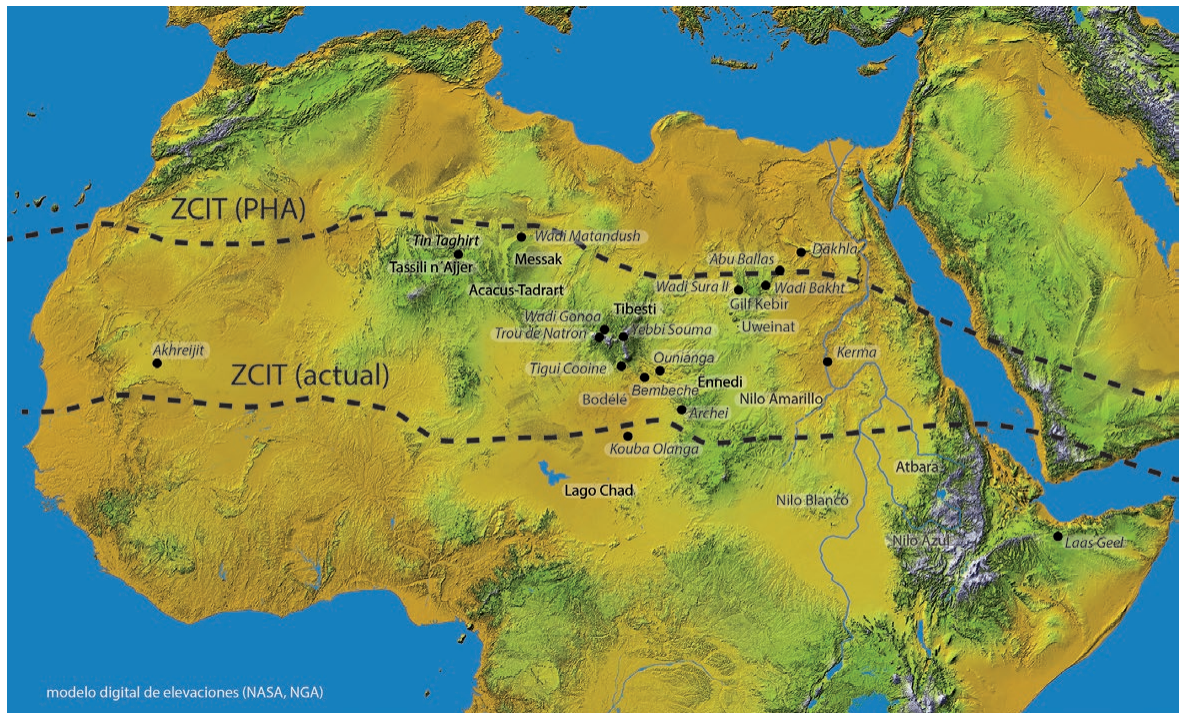


Figura 1. Principales macizos del Sáhara y localidades citadas en el texto, estas en letra cursiva. Posición de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) de verano durante el Periodo Húmedo Africano y en la actualidad (redibujadas a partir de Wright, 2017). Imagen de fondo: NASA.

Figure 1. Main Sahara massifs showing localities cited in the text in italics. Summer ZCIT (Intertropical Convergence Zone; ITCZ) positions during the African Humid Period and at present are also depicted (redrawn from Wright, 2017). Background image: NASA.

la zona y de su modo de vida (Lenssen-Erz, 2007). Además del arte rupestre, han quedado otras manifestaciones humanas, como túmulos y construcciones usadas para cazar animales (di Lernia, 2002; Riemer, 2004). Lamentablemente, la escasez de dataciones numéricas, unida a la gran extensión del territorio del que hablamos, no facilita un conocimiento preciso de este periodo húmedo. No obstante, se han descrito estilos en pinturas y grabados de ámbito local y esas representaciones proporcionan una información que se continúa completando en la actualidad.

El objetivo de este trabajo es realizar una síntesis del cambio climático holoceno en el norte de África, las causas que lo provocaron y cómo afectó al medio físico, así como la influencia que tuvo sobre las poblaciones humanas y sus medios de subsistencia. Paralelamente, se revisan manifestaciones artísti-

cas tales como pinturas y grabados rupestres, además de algunas construcciones extendidas por todo el territorio ocupado actualmente por el desierto del Sáhara, donde han quedado reflejados, al menos parcialmente, los cambios ambientales experimentados recientemente.

2. El Periodo Húmedo Africano

A grandes rasgos, el clima del norte de África está influido por dos regímenes de vientos principales: el monzón del oeste africano, que transporta el aire húmedo desde el golfo de Guinea hacia el interior del continente, y los alisios, vientos secos procedentes del noreste —conocidos localmente como *harmatán*—, que se oponen al monzón. La zona de convergencia de dichos vientos se denomina Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT); su

posición es variable, experimentando un desplazamiento norte-sur en función de la fuerza relativa de ambos (Fig. 1). De noviembre a marzo, los vientos continentales del noreste son los que dominan y desplazan la ZCIT hacia el sur, provocando condiciones muy secas en la región. En abril, la ZCIT empieza a migrar hacia el norte; el frente húmedo se desplaza alcanzando progresivamente zonas cada vez más alejadas de la costa hasta que en julio y agosto, cuando la ZCIT se encuentra a unos 20° N, tiene lugar el máximo de precipitaciones. En el norte de África, las variaciones de la posición de la ZCIT dan como resultado un cinturón con clima monzónico, caracterizado por veranos lluviosos e inviernos secos, en el que la penetración del monzón en el continente depende de la zona de bajas presiones centrada en el oeste del Sáhara durante el verano (Claussen *et al.*, 2017).

En el Holoceno, entre hace unos 11 000 y 5000 años (11-5 ka), la zona hiperárida ocupada en la actualidad por el desierto del Sáhara presentaba una gran variedad de ambientes: cursos fluviales, frecuentes lagos —algunos de grandes dimensiones como el megalago Chad— sabanas e, incluso, bosques tropicales húmedos en algunas zonas. Durante este periodo la mayoría de las regiones del norte de África estarían dominadas por un clima tropical estacional para las que Tierney *et al.* (2017) proponen un paisaje con mezcla de herbáceas, matorrales y elementos tropicales.

En el oeste, a bajas latitudes, las condiciones de total humedad ya se habrían establecido a finales del Pleistoceno, en el interestadial Bølling-Allerød, un calentamiento brusco acaecido en el hemisferio norte entre hace 14.5-12.8 ka (Fig. 2), antes de que la deglaciación fuera completa. Con esta etapa, finalizarían las condiciones hiperáridas imperantes durante la glaciación del Pleistoceno (deMenocal *et al.*, 2000). Sin embargo, en las partes más septentrionales, los cambios llegaron un poco más tarde, a comienzos del Holoceno, época en la que las condiciones húmedas se extendieron a latitudes de hasta 31° N (Tier-

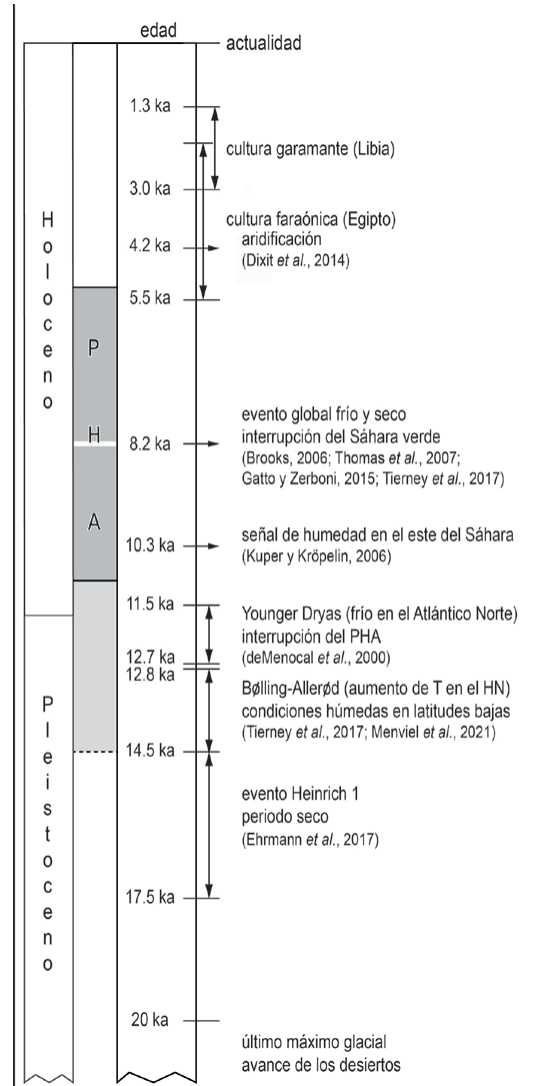


Figura 2. Escala del tiempo geológico con los principales eventos que afectaron al clima del África sahariana en los últimos 20 ka.

Figure 2. Geological timescale with main events affecting the Saharan Africa climate over the last 20 ka.

ney *et al.*, 2017), aunque la zona de máxima precipitación probablemente se concentró entre 15° y 20° N (Wright, 2017). En ocasiones, este periodo, caracterizado por un aumento de las precipitaciones, ha recibido la denominación de “Sáhara Verde”, término posiblemente acuñado por el húngaro Almásy en 1930, según Claussen *et al.* (2017). El Sáhara Verde sería la más reciente de una

sucesión de fases húmedas que, en alternancia con otras más áridas, según deMenocal (1995) y Larrasoña *et al.* (2013) ya habrían empezado en el Mioceno, o tal vez incluso antes (deMenocal y Tierney, 2012). Acerca de este último episodio, el llamado Sáhara Verde o Periodo Húmedo Africano (PHA), existen numerosas evidencias sedimentológicas, geomorfológicas, faunísticas, florísticas y arqueológicas (Quade *et al.*, 2018).

El PHA se atribuye a un refuerzo del monzón causado por un aumento de la insolación en el verano boreal, resultado a su vez de los cambios periódicos en la precesión orbital y modulados por la excentricidad de la órbita terrestre (Braconnot *et al.*, 2008; deMenocal, 2014; Kutzbach *et al.*, 2020). Debido a la atracción gravitacional del Sol, de la Luna y de los grandes planetas, el eje de rotación de la Tierra experimenta un bamboleo —denominado precesión— similar al del eje de una peonza en movimiento, con ciclos de unos 26 ka; este fenómeno determina la duración de las estaciones y la fuerza de la insolación durante las mismas (Fig. 3).

En la actualidad, el perihelio (posición más cercana de la Tierra al Sol) se produce cuando es invierno en el hemisferio norte, pero hace unos 10-11 ka, el eje de rotación, que en la actualidad apunta aproximadamente hacia la estrella Polaris, estaba inclinado en otra dirección, apuntando hacia la estrella Vega, y con una inclinación casi un grado mayor que la actual (Kutzbach, 1992). En ese momento, el perihelio coincidía con el verano en el hemisferio norte y, aunque la diferencia de distancia Tierra-Sol entre el perihelio y el afelio es comparativamente muy pequeña (la variación es de un 3,4 %), se calcula que entonces la radiación solar en el norte de África era un 7% más alta que la actual (Berger 1988; deMenocal *et al.*, 2000).

En verano, debido a la inercia térmica del agua, la insolación calienta la tierra más rápidamente que el mar (el desfase es de unos 2 meses), lo que crea sobre el continente una zona de bajas presiones que favorece la pene-

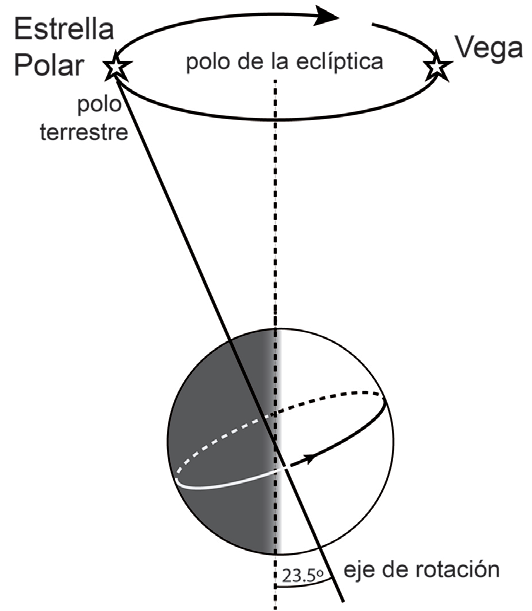


Figura 3. El movimiento denominado precesión consiste en la rotación del eje de la Tierra alrededor de la vertical a la eclíptica, con un periodo de aproximadamente 26 000 años. Cuando el eje apunta hacia Vega, el verano en el hemisferio norte coincide con el perihelio, lo que provoca una mayor insolación en este hemisferio y hace aumentar la diferencia entre las estaciones.

Figure 3. The movement called precession consists of the rotation of the Earth's axis around the vertical to the ecliptic, with a period of approximately 26 000 years. When the axis points towards Vega, summer in the Northern Hemisphere coincides with perihelion, which causes greater insolation in this hemisphere and increases the difference between the seasons.

tración del aire húmedo desde el océano. El aumento en la insolación que tuvo lugar durante el PHA, además de intensificar esa zona de bajas presiones, provocó una mayor evaporación en el golfo de Guinea, reforzando así el monzón atlántico. La humedad era transportada hacia el noreste desplazando la ZCIT hacia el norte y aumentando las lluvias en la parte occidental y central del norte de África. En el este, el Nilo, cuya principal fuente de humedad la constituye actualmente el océano Atlántico, registró un máximo en el caudal a 9.5 ka antes del presente (AP), aumento que ha sido atribuido al refuerzo del monzón del Índico (Hennekam *et al.*, 2014). Dependiendo del modelo climático usado, se ha calculado

que un incremento de un 7% de la radiación del verano provoca que las lluvias monzónicas aumenten entre un 17% y un 50% (Kutzbach y Liu, 1997); en concreto, tomando el modelo de Prell y Kutzbach (1987), deMenocal *et al.* (2000) calculan que cuando la insolación aumenta un 8% la precipitación lo hace en un 40%. Por otro lado, la dinámica general este-oeste hizo que, cuando las condiciones de humedad en el actual Sáhara empezaron a extenderse, la zona occidental recibiera primero el agua y dejara de recibirla más tarde, al disminuir posteriormente la fuerza del monzón (Lézine *et al.*, 2011a).

Sin embargo, aunque las fuerzas orbitales pueden ser el desencadenante del principio y del fin del PHA, no constituyen la única causa de este cambio climático (Gasse, 2000; Chandan y Peltier, 2020). Kutzbach *et al.* (2020) ya habían señalado que la expansión del monzón no podría explicar por sí sola los cambios en el Sáhara y encuentran indicadores de que las lluvias de invierno, procedentes del Mediterráneo, también aumentaron en fase con el refuerzo del monzón del verano. Por otro lado, además del aumento de temperatura en la superficie del océano, que provoca una mayor evaporación, habría que tener en cuenta otros factores. Para algunos autores, existen mecanismos de retroalimentación entre la atmósfera, la superficie del terreno y el océano que son necesarios para explicar la amplificación del monzón y los cambios en la vegetación, aunque estos mecanismos no están aún bien comprendidos (Claussen *et al.*, 2017). En este sentido, Chandan y Peltier (2020) consideran que el aumento de la insolación no podría explicar la amplificación del monzón y que los mecanismos de retroalimentación relacionados con la superficie del terreno —vegetación, suelo y cuerpos de agua—, interactuando con el sistema climático, habrían contribuido al mantenimiento de las condiciones húmedas. Se supone que esto solo sucedería una vez iniciado el cambio, al finalizar el Younger Dryas, un stadial frío identificado en diferentes lugares del hemisferio norte que se caracterizó por un descenso brusco de las temperaturas durante la deglaciación.

2.1. La influencia de los cambios a latitudes altas

Larrasoña *et al.* (2003), quienes asocian los registros de polvo sahariano encontrados en el este del Mediterráneo para los últimos 3 millones de años con cambios en la oblicuidad del eje de rotación, también sugieren que la dinámica del monzón está relacionada con los casquetes glaciares del hemisferio norte. Por tanto, a una escala temporal mayor, existen otras variables que pueden haber provocado eventos áridos en el norte de África, al influir en la fuerza relativa de los vientos anteriormente citados. Las fases húmedas y áridas del Sáhara posiblemente estuvieron relacionadas con las glaciaciones a latitudes altas en el hemisferio norte; en general, durante los periodos glaciales los desiertos avanzan. En el Plioceno superior, cuando se empezaron a formar los casquetes de hielo, el clima del Sáhara se fue haciendo cada vez más seco, si bien alternando con periodos húmedos asociados a las transiciones entre los estadios glacial e interglacial (Ghoneim *et al.*, 2012).

Los modelos climáticos también relacionan las temperaturas del Atlántico Norte con la intensidad del monzón africano. Cuando aquellas descienden, se generan altas presiones en la zona que provocan un aumento en la diferencia de temperatura con el sur, con lo que se intensifican los vientos alisios. La ZCIT se desplaza entonces hacia el sur y el monzón se debilita, dando lugar a una disminución regional de las lluvias (Tjallingii *et al.*, 2008; deMenocal, 2014). Pero ese refuerzo de los alisios también produjo un aumento de las lluvias de invierno en el Levante y en el Mediterráneo, lo que pudo moderar la aridez en la zona norte de África asociada a la glaciación (Blanchet *et al.*, 2021).

Por otro lado, durante la deglaciación, la entrada masiva de icebergs en el Atlántico Norte, procedentes de la fusión de los grandes casquetes glaciares del escudo canadiense (los denominados eventos Heinrich), produciría un debilitamiento de la Circulación de Vuelco Meridional del Atlántico (AMOC; Atlantic Me-

ridional Overturning Circulation), acompañado por un reforzamiento de los vientos del noreste. La mayor intensidad de estos vientos desplazaría hacia el sur el cinturón de lluvia monzónica en el norte de África, aumentando la aridez en esta zona (Castañeda *et al.*, 2009; Lézine *et al.*, 2011a). Mulitza *et al.* (2008) también relacionan las condiciones de aridez en el oeste de África con el debilitamiento de la AMOC durante los eventos Heinrich.

Para Menviel *et al.* (2021), el fortalecimiento de la AMOC al final de una deglaciación influye en la iniciación de los periodos húmedos, ya que la fuerza de la AMOC modula la posición de la ZCIT y, con ello, los patrones de precipitación en el norte de África. Cuando la AMOC es débil, el Atlántico Norte se enfría y el Atlántico Sur se calienta, haciendo que la ZCIT se desplace hacia el sur, produciendo aridez en el norte de África (más en el oeste que en el este). Como el debilitamiento de la AMOC a escala milenaria es algo común durante una deglaciación, esto implica que su recuperación controlaría el comienzo de los periodos húmedos durante los estadios interglaciales. Después de las condiciones áridas relacionadas con el último máximo glacial (26 a 20 ka), en la región del Cuerno de África se registró un periodo seco severo coincidiendo con el evento frío Heinrich 1 y, a continuación, condiciones áridas durante el Younger Dryas (12.7-11.5 ka AP), cuando un descenso de las temperaturas interrumpió brevemente el calentamiento generalizado que siguió al último máximo glacial.

Posteriormente, entre hace 8 y 8.4 ka, un aporte de agua dulce en el estrecho de Hudson produjo un nuevo cambio en la circulación del Atlántico Norte que, para Barber *et al.* (1999), supuso el inicio del evento frío más abrupto y extenso de los últimos 10 ka; aunque su duración fue corta, provocó una intensa aridez en el Sáhara. En un sondeo marino realizado frente a las costas de Mauritania, deMenocal *et al.* (2000) detectaron un aumento brusco de fracción terrígena que interpretaron como debido a un cambio abrupto hacia condiciones más áridas a 8.2 ka AP. Este

evento frío de hace 8.2 ka (Fig. 2), detectado en los testigos de hielo de Groenlandia (Thomas *et al.*, 2007), también pudo quedar reflejado en los periodos de prosperidad de la ciudad de Kerma, situada en las proximidades de la tercera catarata del Nilo en Sudán del Norte, que experimentó un decaimiento entre 7.5 y 7.1 ka AP, asociado probablemente con una disminución del flujo en el Nilo (Blanchet *et al.*, 2013; Honegger y Williams, 2015).

2.2. Registros geológicos del PHA

La repetición de secuencias eólico-lacustres registradas en depósitos continentales (p. ej. Schuster *et al.*, 2006) constituye una clara evidencia de la alternancia aridez-humedad y del hecho de que, durante el Cuaternario, las condiciones desérticas se produjeron repetidamente más que de forma continua. Un buen ejemplo de esta alternancia de climas lo proporcionan Bristow y Armitage (2016), cuya Fig. 3 muestra un nivel de diatomitas —roca de origen lacustre formada principalmente por restos de diatomeas— sobre un barján en la depresión de Bodélé, en el norte de Chad. La ausencia de suelo en el depósito eólico, y la conservación de su morfología, han sido interpretadas como una transgresión rápida de las aguas del lago Chad sobre la duna. La gran extensión alcanzada por este lago durante el último periodo húmedo hace que los afloramientos de diatomitas sean muy frecuentes en Chad (Fig. 4A) y que, en algunos lugares como en la citada depresión de Bodélé, se presenten ahora como yardangs, formas de erosión características (Fig. 4B); su altura se ha utilizado para calcular la tasa de erosión eólica actual (Bristow *et al.*, 2009).

En *wadi* Bakht (Gifl Kebir, Egipto; el término árabe *wadi* se usa para referirse a un río o valle seco, aunque puede llevar agua con lluvias intensas), Riemer *et al.* (2017) describen una secuencia sedimentaria que indica un clima hiperárido, similar al actual, con una antigüedad de 10.3 ka, seguido de un clima árido con precipitaciones aisladas muy fuertes y la formación de una playa, sugeriendo todo ello de

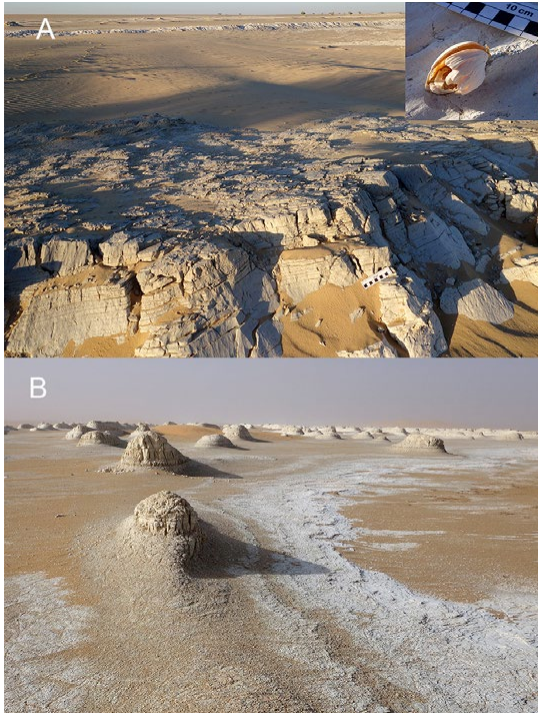


Figura 4. A. Afloramiento de diatomitas del lago Megachad; contienen restos de bivalvos, de gasterópodos y de piezas dentarias de peces pulmonados. Estos depósitos lacustres presentan una cierta inclinación al apoyarse sobre un depósito eólico. Situados en las proximidades de Kouba Olanga, Chad (coord. 15.758, 18.248). B. Yardangs de diatomita en la depresión de Bodélé.

Figure 4. A. Outcrop of the Megachad Lake diatomites containing remains of bivalves, gastropods, and dental fragments of pulmonate fishes. The slight dip of these lacustrine deposits is due to their location overlying eolian dune sediments. Locality near Kouba Olanga, Chad (coord. 15.758, 18.248). B. Diatomite yardangs in the Bodélé depression.

un régimen monzónico de lluvias en verano; para este periodo estiman una precipitación de $100\text{--}150\text{ mm a}^{-1}$ (en la actualidad es inferior a 2 mm ; Kröpelin, 2005). En los últimos 65 ka, Zaki *et al.* (2021) han identificado, al menos, cuatro periodos húmedos. Y, aunque se pensaba que el registro terrestre más antiguo que marcaba el inicio de las condiciones desérticas en el Sáhara correspondía a una arenisca eólica encontrada en Túnez —data- da en más de 86 ka (Swezey *et al.*, 1999)—, algunos autores, como Mejía-Molina *et al.* (2006) o Castañeda *et al.* (2009), indican que

la alternancia en el norte de África de periodo húmedo-periodo seco no ha tenido lugar únicamente en el Cuaternario. Vignaud *et al.* (2002), estudiando los homínidos fósiles de Toros Menalla (Chad), describen una sección arenosa que interpretan como dunas eólicas de 6-7 Ma, probablemente el registro desértico más antiguo que se conoce en la zona central del norte de África.

Pero, aparte de los registros terrestres que, además de ser escasos y discontinuos (Larrasoña, 2012) únicamente aportan información sobre cambios locales, existen numerosos registros geológicos marinos que proporcionan archivos más completos y que responden a cambios más generales. En este sentido, es destacable que la mayor parte de los depósitos marinos estudiados en el Mediterráneo se localizan principalmente en la zona oriental, bien en zonas próximas a la desembocadura del Nilo, bien en el propio delta, o incluso frente a Libia, en el golfo de Sirte. Hacia el oeste, en el Atlántico, también se han analizado depósitos marinos frente a las costas de Mauritania y en el golfo de Guinea (Tabla 1).

Una de las cronologías más precisas la proporcionan los depósitos de sapropel del Mediterráneo. Su formación se relaciona con una elevada productividad biológica en condiciones anóxicas, por lo que se usan como un indicador de condiciones húmedas en el norte de África (p. ej. Brierley *et al.*, 2018). En la parte oriental, su formación se ha atribuido a un aumento de la escorrentía del Nilo provocado por las lluvias monzónicas (p. ej. Emeis *et al.*, 2000; Larrasoña *et al.*, 2013; Bosmans *et al.*, 2015; Vadsaria *et al.*, 2019), especialmente en el Nilo Azul y en el río Atbara, que drenan las tierras altas de Etiopía, y probablemente en el Nilo Amarillo, que, al menos durante el Holoceno medio, quizá constituyera un curso de agua tan importante como el Nilo Azul (Chandan y Peltier, 2020). El aumento en el aporte de agua dulce del Nilo produciría una estratificación de las aguas marinas, lo que conduciría a la formación del sapropel.

Tabla 1. Principales aspectos analizados en depósitos marinos y su interpretación.
Table 1. Main aspects analysed in marine sediments and its interpretation.

INDICADOR	INTERPRETACIÓN	AUTORES
Materiales eólicos o fluviales en depósitos marinos	Condiciones de aridez o de humedad	Tiedemann <i>et al.</i> , 1989 deMenocal, 1995 deMenocal <i>et al.</i> , 2000 Adkins <i>et al.</i> , 2006 Mejía-Molina <i>et al.</i> , 2006 Blanchet <i>et al.</i> , 2013 McGee <i>et al.</i> , 2013
Asociaciones minerales en sedimentos no sapropélicos/ mineralogía de arcillas	Discriminan entre transporte eólico y transporte fluvial	Emeis <i>et al.</i> , 2000 Ehrmann <i>et al.</i> , 2017 Blanchet <i>et al.</i> , 2021
Sapropel	Condiciones anóxicas. Se relacionan con una intensificación del monzón	Emeis <i>et al.</i> , 2000 Mercone <i>et al.</i> , 2000 Larrasoaña <i>et al.</i> , 2013 deMenocal, 2014 Hennekam <i>et al.</i> , 2014 Bosmans <i>et al.</i> , 2015 Brierley <i>et al.</i> , 2018 Vadsaria <i>et al.</i> , 2019 Blanchet <i>et al.</i> , 2021
$\delta^{18}\text{O}$ en foraminíferos planctónicos	Disminuye cuando las aguas superficiales marinas reciben aportes de agua dulce	Emeis <i>et al.</i> , 2000 Weldeab <i>et al.</i> , 2005 Osborne <i>et al.</i> , 2008 Blanchet <i>et al.</i> , 2021
Diatomeas de agua dulce en depósitos marinos	Intensidad de los vientos en el continente	Flores <i>et al.</i> , 2000
Relación Ba/Al en sedimentos marinos	El valor aumenta durante los periodos húmedos	Mercone <i>et al.</i> , 2000 Ziegler <i>et al.</i> , 2010 Pausata <i>et al.</i> , 2020
Relación Mg/Ca en foraminíferos planctónicos	Indican la salinidad del agua marina superficial (depende de los aportes fluviales)	Weldeab <i>et al.</i> , 2005
Relación Ti/Al en sedimentos marinos	El valor disminuye durante los periodos húmedos	Mejía-Molina <i>et al.</i> , 2006 de Boer <i>et al.</i> , 2021
Relación Ba/Ca en foraminíferos planctónicos	El Ba aumenta con salinidad baja	Weldeab <i>et al.</i> , 2007
Isótopos de neodimio (Nd) en foraminíferos planctónicos	Las composiciones isotópicas se relacionan con áreas fuente drenadas por paleoríos (1) Indicador de circulación marina (2)	(1) Osborne <i>et al.</i> , 2008 (2) Vadsaria <i>et al.</i> , 2019
$\delta^{13}\text{C}$, derivado de las ceras de plantas, en sedimentos marinos	Contribución relativa de plantas C_3 (ambiente seco) y de plantas C_4 (ambiente húmedo)	Castañeda <i>et al.</i> , 2009 Tierney <i>et al.</i> , 2017
δD , derivado de las ceras de plantas, en sedimentos marinos	Indicador de aridez/humedad (el ^2H en el suelo aumenta en zonas áridas)	Tierney y deMenocal, 2013 Tierney <i>et al.</i> , 2017 Gaviria-Lugo <i>et al.</i> , 2023

Pero Emeis *et al.* (2003) también atribuyen la falta de circulación vertical en el este del Mediterráneo a un aumento de la temperatura superficial del agua. La capa más reciente de sapropel frente al Nilo contiene materiales con edades que van desde 11.5 a 6 ka AP (deMenocal, 2014). En los depósitos de los últimos 245 ka se han identificado nueve periodos de capas de sapropel, todos coincidiendo con una insolación de verano máxima relacionada con la precesión (Skonieczny, 2015), pero en realidad estos depósitos parecen extenderse hasta edades mucho más antiguas (deMenocal y Tierney, 2012). De acuerdo con los datos terrestres obtenidos en Chad antes citados, los registros marinos del oeste de África revelan episodios áridos desde el Plioceno (Muhs *et al.*, 2019) o incluso desde el tránsito Mioceno-Plioceno (Tiedemann *et al.*, 1989; deMenocal y Tierney, 2012; Zhang *et al.*, 2014).

El comienzo del PHA coincidió con el final de las condiciones glaciales en Europa y en el Atlántico Norte, una etapa que tuvo lugar hace aproximadamente unos 14.5 ka (evento Heinrich 1), cuando los valores de insolación eran un 4,2% superiores a los actuales. Posteriormente, la vuelta a las condiciones frías que tuvieron lugar en Europa y en el Atlántico Norte durante el Younger Dryas, se ha asociado en África subtropical con el brusco aumento de la aridez que interrumpió el PHA (deMenocal *et al.*, 2000; Fig. 2).

Además de la reactivación de algunos cursos fluviales, ahora secos, en el PHA se formaron lagos de diversas magnitudes. Para algunos autores (p. ej. Quade *et al.*, 2018), lo más probable es que se formaran pequeños lagos y zonas húmedas, más que grandes lagos. Aunque la existencia de un gran lago en Chad no se discute —se pueden reconocer las antiguas líneas de costa en las que se identifican desembocaduras fluviales, deltas, espigas y tómbolos y depósitos de diatomita—, no hay pruebas tan claras sobre otros megalaos como el Darfur, el Fezzan o el Chotts. Para Drake *et al.* (2022) la mayor parte de los lagos saharianos son del Estadio Isotópico Marino

(MIS) 5 o anteriores y únicamente los megalaos Chad y Timbuktu muestran costas del Holoceno.

El Holoceno medio (8-5.5 ka) comienza marcado por una transición climática, aunque no está clara (Tierney y deMenocal, 2013; Gatto y Zerboni, 2015). En general, hay menos humedad y parece que termina el PHA. Los sistemas acuáticos alimentados directamente por las lluvias monzónicas responden casi instantáneamente a esa sequía (Gatto y Zerboni, 2015), mientras que los lagos alimentados por acuíferos persisten más tiempo. Un buen ejemplo lo constituyen los lagos de Ounianga, entre los macizos de Tibesti y Ennedi, en el norte de Chad. Estos lagos se agrupan en dos conjuntos: Kebir (Grande) y Serir (Pequeño), separados entre sí unos 40 km. Situados en una región con una precipitación de menos de 21 mm en un periodo de 14 años, y una evapotranspiración media de 6100 mm a⁻¹, Kröpelin (2017) encuentra depósitos de diatomita —hasta 80 m por encima del nivel actual del lago en Ounianga Serir— correspondientes a un nivel más alto del agua a comienzos del Holoceno. En la actualidad, los dos lagos originales han quedado fragmentados en unidades más pequeñas que son alimentadas por un flujo continuo de agua subterránea proveniente del acuífero de la arenisca Nubia, recargado por última vez durante el PHA (Fig. 5A). El mayor de los lagos de Ounianga Serir, el Teli, es un lago hipersalino que actúa como una bomba de evaporación, mientras que los lagos más pequeños, colonizados por carrizales de *Phragmites* experimentan una evaporación menor (Kröpelin, 2007; Eggermont *et al.*, 2008; Fig. 5B).

2.3. Terminación del PHA

La terminación del PHA parece que fue espacial y temporalmente más compleja que su inicio (Claussen *et al.*, 2017). Los registros paleohidrológicos indican que el aumento de precipitación tuvo lugar en diferentes momentos en cada localidad, dependiendo de la posición geográfica y el contexto geomorfológico.

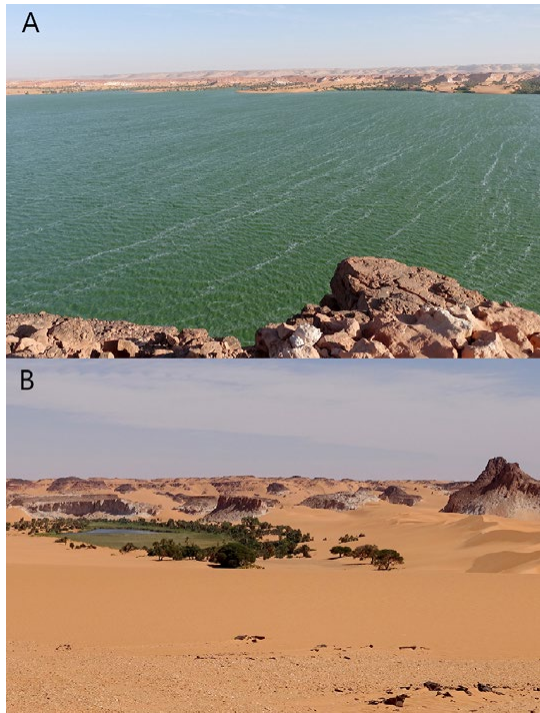


Figura 5. A. Ejemplo de un lago en un entorno hiperárido, desprovisto de vegetación y sujeto a una evaporación muy intensa (lago Yoa, Ounianga Kebir; coord. 19.057, 20.502). B. Ejemplo de un lago en condiciones similares al A en el que la colonización por *Phragmites* hace disminuir la evaporación (lago Boukou, Ounianga Serir; coord. 18.914, 20.911).

Figure 5. A. Example of a hyperarid lake devoid of vegetation and subjected to intense evaporation (Lake Yoa, Ounianga Kebir; coord. 19.057, 20.502). B. Example of a lake in similar climatic conditions to A, but covered in *Phragmites*, which slow down evaporation (Lake Boukou, Ounianga Serir; coord. 18.914, 20.911).

gico (Gatto y Zerboni, 2015). Según estos autores, durante el Holoceno inferior hubo una interrupción del PHA, una fase seca alrededor de 8.5-8 ka AP que, aunque no está claro que se produjera en todo el norte de África, en varias regiones provocó cambios en el nivel de las masas de agua. En la zona de Libia, el nivel de los lagos cayó a 8.1-8 ka AP sugiriendo una interrupción de las lluvias monzónicas, que también secaron las fuentes del macizo Acacus-Tadrart. Otras zonas registraron una reducción en la disponibilidad de agua. En el Mediterráneo se ha observado una interrupción en la formación de sapropel a ca. 8.1 ka

AP, interrupción que algunos autores relacionan con el ya citado enfriamiento en el hemisferio norte a 8.2 ka AP (Hennekam *et al.*, 2014).

Sobre la terminación del PHA hay opiniones encontradas: mientras que los registros marinos sugieren un cese abrupto de las condiciones húmedas alrededor de 5.5 ka AP (deMenocal *et al.*, 2000; Tierney *et al.*, 2017), los registros continentales indican una transición gradual hacia condiciones más áridas (Kröpelin *et al.*, 2008; Francus *et al.*, 2013). Sin embargo, para Holmes *et al.* (2017), no está claro si los registros que indican un final abrupto del PHA son el resultado de un cese brusco de las precipitaciones o una falta de respuesta por no haberse sobrepasado un determinado umbral.

El final del PHA pudo no haber ocurrido a la vez en todo el territorio del Sáhara. En cualquier caso, hace unos 5 ka, las condiciones húmedas en el continente africano ya habían terminado y la región experimentaba una tendencia sostenida hacia la aridez (deMenocal, 2014; Coutros, 2019). En general, la disminución de la humedad debió de empezar en la zona norte e ir progresando gradualmente hacia el sur, aunque la gran heterogeneidad del relieve pudo marcar diferencias locales (Pausata *et al.*, 2020) y darse el caso de que los relieves montañosos de algunos macizos, como el Tibesti o el Ennedi, retrasasen el final del PHA en esas zonas (Brierley *et al.*, 2018).

Los cálculos de Darius (2013) sobre precipitación actual en el sureste del desierto de Libia muestran un control topográfico de las isoyetas, hecho que sugiere a este autor que podría servir de modelo para conocer las condiciones de pluviosidad en la zona durante el Holoceno medio. En los sedimentos del lago Yoa (en Ounianga Kebir), se observa un aumento progresivo de entradas eólicas en los últimos 6.1 ka, respondiendo a la aridificación del entorno: una pérdida de la cubierta vegetal aumenta la cantidad de material disponible susceptible de ser erosionado por el viento (Francus *et al.*, 2013). Para la costa este

de África, los datos apoyan una terminación rápida alrededor de hace 5 ka (deMenocal *et al.*, 2000; Tierney y deMenocal, 2013). Estos autores, para explicar un cambio no lineal de la precipitación asociada a la terminación del PHA, sugieren la existencia de mecanismos de retroalimentación de la vegetación que, al modificar el albedo de la superficie y la humedad del suelo, reforzarían las respuestas a los cambios orbitales. Asimismo, puede que la respuesta a los cambios en la insolación por causas orbitales haya sido espacialmente heterogénea, con unas zonas de respuesta rápida, en unos pocos siglos, y otras, como las observadas en el lago Yoa, de miles de años (deMenocal, 2014).

¿Pudo contribuir en alguna forma la actividad humana al fin del PHA? Wright (2017) señala que las modificaciones introducidas por el hombre en la vegetación pudieron acelerar la terminación del PHA, mientras que, para Brierley *et al.* (2018), un manejo activo del pasto puede contribuir a su permanencia, retrasando el colapso que se produciría de forma natural. Según Zerboni y Nicoll (2019), desde hace unos 7 ka, el pastoreo ha podido aumentar la entrada de polvo en la atmósfera, amplificando con ello la desertización. Finalmente, en un análisis realizado sobre estos aspectos, Pausata *et al.* (2020) concluyen que aún no hay suficientes datos sobre la actividad humana en el Holoceno medio por lo que no es posible valorar adecuadamente el impacto que ha podido tener en la finalización del PHA.

3. Los periodos verdes y la dispersión y migración de los homínidos

Un Sáhara más húmedo que el actual, en el que la expansión de la sabana redujo la superficie de las zonas desérticas y semidesérticas, proporcionó en diferentes momentos de su evolución corredores potenciales para la dispersión de los homínidos desde el norte de África hacia Levante y hacia la península de Arabia.

Es probable que la dispersión inicial del humano moderno, originado en África hace

unos 200-150 ka (Groucutt *et al.*, 2015), guarde relación con el episodio húmedo que tuvo lugar durante el MIS5e (130-117 ka). Durante el MIS5 (130-70 ka), significativamente más húmedo que el PHA y caracterizado por tres picos de insolación pronunciados, como ya se había comentado se formaron varios megalaos en el norte de África, y esto marcaría diferencias en la ocupación humana de la zona con respecto al periodo húmedo más reciente (Drake *et al.*, 2022). La migración se produjo a través de diferentes rutas, entre las que se incluyen cursos fluviales ahora abandonados, o incluso enterrados, como los sistemas fluviales de Sahabi y Kufrah, que se extendían desde las zonas del Tibesti y de Gilf Kebir hacia el golfo de Sirte, en Libia (Osborne *et al.*, 2008; Paillou *et al.*, 2009; Blanchet *et al.*, 2021). En los movimientos migratorios, varios autores descartan una ruta que parece obvia, la del Nilo, ya que es probable que en esos momentos las condiciones húmedas, que favorecieron el crecimiento de la vegetación y la formación de ríos y lagos en el Sáhara, convirtiesen el entorno del Nilo en un medio no habitable, llevando a la población a alejarse de él (Kuper y Kröpelin, 2006; Zaki *et al.*, 2021; Blanchet *et al.*, 2024).

En los cambios a gran escala en la población del norte de África, el clima es el factor más importante; para Gatto y Zerboni (2015), el medio también juega un papel muy importante, particularmente en tiempos prehistóricos cuando la modificación del entorno natural por los humanos era aún bastante limitada. Según trabajos recientes, como el de Kutzbach *et al.* (2020), quienes realizan una simulación de los cambios clima/vegetación para los últimos 140 ka, los aumentos en la precipitación y en la vegetación fueron similares en tres etapas controladas por la precesión —hace 125, 105 y 83 ka—, mientras que el pico más reciente de principios del Holoceno, hace unos 12 ka, fue ligeramente menor.

Larrasoña *et al.* (2013) relacionan la ocupación del Sáhara por los homínidos en los últimos 6-7 Ma con estos periodos húmedos. Estos mismos autores, a partir de registros

marinos y continentales, identifican 230 periodos verdes en los últimos 8 Ma, destacando que en los cuatro últimos (128-122 ka, 108-102 ka, 81-77 ka y 10-6 ka) las condiciones húmedas coinciden en el norte y este de África, en la península de Arabia y en Levante, lo que facilitaría la migración del *Homo sapiens* desde África hacia Asia. Por otro lado, para Blanchet *et al.* (2021) un aumento de la precipitación invernal en el norte de África durante el MIS3/4 —mientras la zona más al sur permanecía árida— también permitiría la formación de corredores verdes que conectarían Marruecos con Levante. Estos autores sugieren que la zona costera del norte de África era un entorno favorable durante el último ciclo glacial, lo que permitiría a la población moverse y mezclarse.

La disponibilidad de agua durante el último periodo húmedo permitió la dispersión de la población por el territorio ocupado actualmente por el desierto. Dentro del Sáhara, hay zonas con una larga ocupación, como el Acacus-Tadrart en Libia y Argelia o el Tassili en Argelia, habitadas ya en el Holoceno inferior (di Lernia, 2015), aunque el Sáhara parece haber sido ocupado de forma recurrente desde finales del Mioceno (Larrasoaña *et al.*, 2013). Manning y Thimpson (2014), en su reconstrucción de la demografía del Sáhara durante el Holoceno, distinguen varias etapas: un aumento masivo y dispersión de la población poco después de 11 ka AP, un descenso de la población entre 7.6 y 6.7 ka AP y un colapso importante al final del periodo húmedo, entre 6.3 y 5.2 ka AP. Según estos autores, parece que poco antes de 11 ka AP ya había grupos en el Tibesti, donde la precipitación había aumentado anteriormente (Lézine *et al.*, 2011b). Sin embargo, para Kröpelin *et al.* (2016), quienes analizaron sedimentos lacustres en dos volcanes del Tibesti —uno de ellos la caldera del Trou de Natron; Fig. 6—, no hay un establecimiento adelantado de las condiciones húmedas en las zonas montañosas del Sáhara, ni tampoco un retraso en su finalización.

Con el advenimiento del PHA, los primeros pobladores de un área determinada serían

cazadores-recolectores que aprovecharían los recursos presentes en las zonas bajas de su alrededor. Posteriormente, al disminuir las precipitaciones, las poblaciones sedentarias del centro y sur del Sáhara fueron reemplazadas por culturas pastoriles móviles (deMenocal *et al.*, 2000). Y parece que la práctica del nomadeo fue clave en su supervivencia ya que, el aumentar la ocupación del territorio, hizo posible alargar la permanencia de los pastores en algunas zonas. Los desplazamientos de los diferentes grupos pudieron ser importantes, como muestran las coincidencias de estilos de pinturas de ganado en Gilf Kebir y Jebel Uweinat, suroeste de Egipto, a pesar de que estas dos zonas distan entre sí unos 200 km (Zboray, 2012). Algo similar ocurre en la región del Cuerno de África, donde el estilo de representación del ganado bovino característico de Laas Geel (Somalilandia) también aparece en las tierras altas de Etiopía, a unos 450 km de distancia (Assefa *et al.*, 2014). Estos autores lo interpretan como una posible conexión cultural y económica entre amplios territorios de la zona.

En los últimos 5 ka, la progresiva aridificación que tuvo lugar al finalizar el PHA provocó la migración de animales, de plantas y también de los humanos, aunque el hombre tiende a modificar sus estilos de vida más que a abandonar sus tierras (Zerboni *et al.*, 2016). La escasez de agua concentró las poblaciones humanas en los lugares en que, bien por las precipitaciones, bien por la explotación de aguas subterráneas, la vida seguía siendo posible. Los animales migraron hacia zonas más favorables lo que, en algunos casos, provocó que quedaran atrapados en reductos de los que no han podido salir. Son bien conocidos los cocodrilos de Mauritania y los de la *guelta* d'Archei (en Chad; Fig. 7A), reptiles piscívoros que sobreviven en esta charca permanente gracias a la frecuente visita de los rebaños de camellos que fertilizan las aguas con sus excrementos; Brito *et al.* (2011) apuntan a que quizá también pudiera haber cocodrilos en el Tibesti. Es posible que el aislamiento de estas poblaciones haya provocado cambios en su comportamiento, ya que se trata de indivi-

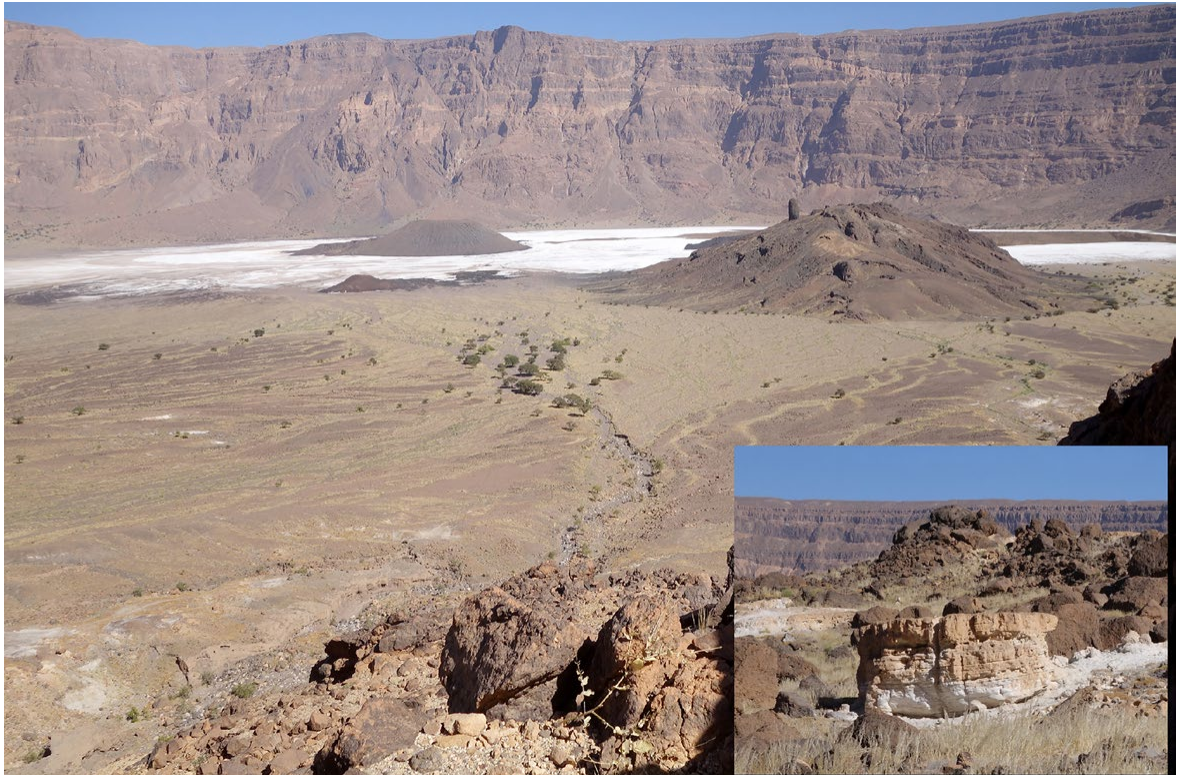


Figura 6. Vista hacia el noreste del interior de la caldera volcánica del Trou de Natrón (macizo del Tibesti; coord. 20.970, 16.572). Se distingue el acantilado rocoso que limita la caldera. En el fondo, un pequeño lago (mancha oscura, a la derecha de la imagen) formado por lluvias recientes (diciembre de 2017). El área blanca que lo rodea corresponde a un depósito de natrón. La vegetación, principalmente acacias, flanquea un conjunto de canales fluviales inactivos. Las elevaciones corresponden a pequeños conos volcánicos y, casi en el centro, a un pitón. En el recuadro inferior, las diatomitas analizadas por Kröpelin *et al.* (2016).

Figure 6. View to the northeast of the interior of the volcanic caldera Trou de Natron (Tibesti Massif, coord. 20.970, 16.572). The cliff in the background represents the crater walls. Notice an ephemeral small lake (dark area to the right) formed by recent rain accumulation (December 2017). The white area surrounding the lake is a natron deposit.

*Vegetation, mainly acacia trees, flanks a set of inactive fluvial channels. Small volcanic cones and a piton are also visible in the caldera. The photo inset in the lower right corner depicts the diatomites analysed by Kröpelin *et al.* (2016).*

duos muy tímidos que huyen del contacto con los humanos (Fig. 7B); esto, junto con la falta de interés en cazarlos, es lo que ha permitido su supervivencia (Shine *et al.*, 2001).

En el caso de las poblaciones humanas, con la aridificación, además de disminuir el número de individuos, surge el nomadeo, un mecanismo adaptativo de los pastores que hizo que los pobladores del centro y suroeste del Sáhara pudieran resistir después de terminar el PHA, aumentando su movilidad (Manning y Timpson, 2014). Se lleva el ganado a los mejores pastos disponibles a lo largo del año, aunque, según Krätli *et al.* (2013), esta práctica

es una respuesta a la relativa abundancia más que a la escasez. Una mayor movilidad, una fuerte territorialidad y un descenso en los recursos de subsistencia pueden haber conducido a sociedades más jerarquizadas con un aumento en la complejidad socio-cultural, tal como parecen mostrar la organización de los asentamientos y las prácticas funerarias (Cremaschi y Zerbini, 2009; di Lernia, 2015; Zerbini *et al.*, 2016).

Al final del periodo húmedo, y coetáneamente con el despoblamiento del norte de África, surge en el valle del Nilo la civilización del Antiguo Egipto. Los márgenes del desierto

migran hacia el sur y esto, además de influir en el pastoralismo del subsáhara, ayuda a que en torno a esa fuente continua de agua se desarrolle la cultura faraónica y se consolide el establecimiento de asentamientos permanentes en sus orillas (Kuper y Kröpelin, 2006).

En la actualidad, y a pesar de la escasez de lluvias, diversas poblaciones, algunas relativamente importantes en Mauritania, Libia, Argelia o Chad, resisten en este medio hiperárido. Al disminuir las precipitaciones, también los humanos fueron migrando progresivamente hacia zonas con condiciones más favorables, situadas en las proximidades de antiguos cursos fluviales o de lagos, donde el nivel freático se encuentra relativamente próximo a la superficie, lo que facilita el acceso al agua y permite además la existencia de palmerales. La palmera salvaje (*Hyphaene thebaica*) ampliamente distribuida durante el Holoceno por el norte de África, fue posteriormente sustituida por la palmera datilera (*Phoenix dactylifera*), cuyos frutos, con un valor nutricional más elevado que los de la salvaje (Lézine *et al.*, 2011b), constituyen una fuente importante de alimentación y son incluso utilizados como moneda de intercambio (Fig. 8). Otros asentamientos fijos, pero con menos habitantes, sobreviven principalmente gracias al agua almacenada en los acuíferos recargados durante el PHA. Sin embargo, al no producirse en la actualidad una recarga que compense el consumo —aunque las precipitaciones pueden ser intensas, son muy esporádicas—, las dificultades crecientes para acceder al agua ponen en peligro la existencia de estas poblaciones, por ejemplo, en el pozo de Naga, en Sudán del Norte, el nivel del agua que se extrae, por métodos ancestrales con ayuda de burros, está a más de 70 m de profundidad (coord. 16.2694, 33.2738; los valores positivos en el caso de la latitud indican N y en la longitud indican E).

4. El arte rupestre sahariano

La huella más conspicua dejada por los pobladores del Sáhara durante el último periodo húmedo lo constituye el arte rupestre que,



Figura 7. A. *Guelta d'Archei* (Ennedi, Chad; coord. 16.903, 21.774), una fuente de agua permanente, que sirve de abrevadero a los rebaños de camellos.

B. Huella dejada por un cocodrilo al huir hacia el agua; los reptiles de esta guelta son extremadamente tímidos y entran en el agua al primer signo de presencia humana (Britto *et al.*, 2011). Se desconoce el número exacto de individuos que habitan en la zona.

Figure 7. A. *Guelta d'Archei* (Ennedi, Chad; coord. 16.903, 21.774), a permanent water source for camels. B. Footprint left by a crocodile after fleeing into the water; the reptiles in this guelta are extremely timid and retreat into the water at the first sign of human presence (Britto *et al.*, 2011). The exact number of crocodiles living in this guelta is unknown.

además de proporcionar información sobre el entorno en el que vivían, refleja sus relaciones con el medio y también entre ellos. Las pinturas y los grabados, realizados principalmente sobre areniscas, se encuentran ampliamente repartidos por todo el territorio; las pinturas, en general con una ejecución más fina, se localizan mayoritariamente en abrigo (p. ej. Wadi Sura II en Gilf Kebir, Egipto) o en pequeños huecos en relieves rocosos (p. ej. Ennedi, Chad), mientras que los grabados también se pueden hallar en paredes verticales de pequeños acantilados (p. ej. Wadi Gonoa en el



Figura 8. Yebbi Souma (Tibesti; coord. 21.103, 17.956). Mientras que el palmeral se encuentra situado en las márgenes del río, la población está asentada en la parte alta, protegiéndose de los aumentos bruscos de caudal provocados por tormentas.

Figure 8. Yebbi Souma (Tibesti; coord. 21.103, 17.956). While the palm trees are concentrated on the riverbanks, the town is in the elevated flat, protected from sudden stormwater runoffs.

Tibesti, Chad), superficies lisas casi horizontales (p. ej. Meseta del Messak, Libia), o, incluso, en rocas aisladas (p. ej. Tadrart, Argelia).

Los primeros descubrimientos del arte rupestre en el norte de África, por parte de los europeos, fueron realizados en 1847 en las montañas del sur de Orán (Argelia) por dos militares de la armada francesa, quienes encontraron grabados de elefantes, antílopes, avestruces, gacelas y leones (Smith, 1968; Bahn, 2012). Otros exploradores del siglo XIX investigaron el arte rupestre de diferentes zonas de Argelia, Libia y Chad (Alsherif, 2014). A principios del siglo XX, Hassanein Bey (1925) reflexiona sobre el hecho de que, aunque encuentra pinturas de jirafas en Uweinat (suroeste de Egipto), estos animales ya no viven allí y que, a pesar de que para llegar a ese punto ha tenido que hacerlo en camello, no

hay pinturas de camellos. Por ello, se plantea: ¿conocían las jirafas, pero no el camello? En el libro de Hassanein Bey, Hume, director del Servicio Geológico de Egipto, comenta que estas pinturas deben de ser antiguas, hechas en un periodo en el que llovía más que en la actualidad, haciendo ya una interpretación ambiental del arte rupestre de la zona. Unos años más tarde, en 1950, Heinrich Barth, en un viaje por el norte de África que duró tres años, descubrió las pinturas de Fezzan en Libia (Smith, 1968; di Lernia, 2015). En 1957, Barth afirmó que reflejaban una vida muy diferente de la que había en ese momento (deMenocal y Tierney, 2012).

Aunque algunas zonas con arte rupestre han sido objeto de numerosos estudios (p. ej. Tassili n'Ajjer, Acacus, Ennedi, Gil Kebir, Uweinat), no existe un inventario global: la amplitud del

territorio y la gran variedad de estilos dificulta su clasificación. Por otro lado, la escasez de dataciones impide realizar una cronología precisa de los diferentes estilos identificados en el Sáhara. En general, se han utilizado métodos indirectos, como la superposición de estilos y, en grabados, la superposición de surcos y el desarrollo de la pátina del desierto. Sin embargo, la pátina puede ser un indicador poco fiable, ya que la meteorización en un mismo panel puede estar condicionada por la orientación y por la exposición a la erosión eólica (Zboray, 2012), aunque Guagnin (2014) la emplea para diferenciar cuatro periodos, a partir del estudio de cerca de 2500 grabados en Messak (Libia). Otros investigadores (e.g. di Lernia *et al.*, 2015) han usado diferentes técnicas para analizar pigmentos encontrados en artefactos utilizados en el suroeste de Libia por grupos de cazadores-recolectores y por grupos pastoriles, situándolos entre hace 8.9 y 4.5 ka. También se han empleado asociaciones con yacimientos arqueológicos datados por carbono 14. Pero dada la escasez de muestras, y el hecho de que el propio método conlleva su destrucción, la datación de pinturas por este método apenas se emplea.

A la vista de los malos resultados obtenidos de dataciones directas, algunas expediciones han investigado los depósitos cuaternarios encontrados al pie de paredes con pinturas, intentando relacionarlos con las mismas (Le Quellec, 2013). Para Gallinaro (2013), los datos arqueológicos y las dataciones indirectas por OSL (Luminiscencia Ópticamente Estimulada), aportados por Mercier *et al.* (2012), parecen apoyar la teoría de que el principio del arte rupestre en el Tassili (Argelia) se remonta, al menos, a principios del Holoceno. Esto concuerda con las opiniones de Manning y Thimpson (2014), para quienes poco después de 11 ka AP, aunque haya un pequeño desfase entre el establecimiento de las condiciones húmedas y la reocupación humana del desierto, tiene lugar un aumento masivo en la población del Sáhara. Las poblaciones emigrarían desde el sur ocupando territorios situados más al norte, según se iban volviendo progresivamente favorables.

A diferencia del arte paleolítico europeo, el arte rupestre sahariano no se centra en los animales, sino que también recoge objetos de la vida cotidiana, imágenes de humanos realizando diferentes actividades y representaciones de lo que podría ser considerado el mundo espiritual. Los primeros pobladores —cazadores, pescadores y recolectores— fueron sustituidos por sociedades pastoriles que explotarían los animales domésticos, inicialmente el ganado vacuno y más tarde ovejas y cabras, mejor adaptadas a las condiciones de aridez; finalmente, cuando el pasto empezó a escasear, se adoptaría un modo de vida trashumante (Cremaschi *et al.*, 2014). Y esta sucesión de etapas aparece reflejada en el arte rupestre, convertido en un archivo que llega hasta la actualidad y que muestra los cambios en el mundo animal y en las formas de vida de las sociedades holocenas.

4.1. Estilos y periodos del arte rupestre sahariano

Tanto en pinturas como en grabados, se han identificado particularidades que han sido utilizadas para definir estilos, con una distribución geográfica más o menos amplia. Sin embargo, asignar los estilos a una edad concreta presenta una gran dificultad debido a la escasez de dataciones numéricas y también a que el arte rupestre se distribuye por un territorio muy extenso, con características orográficas y localizaciones con respecto al mar —principal fuente de humedad— muy variadas. En general, se han establecido varios periodos, aunque su aplicación espacial es restringida. Por otro lado, como señala Zboray (2012), uno de los problemas en los trabajos sobre arte rupestre es el uso de los términos “estilo”, “cultura” y “periodo” como sinónimos.

Una división inicial podría hacerse separando pinturas y grabados figurativos —representaciones de animales y de humanos— de los no figurativos. Entre estos últimos se encuentran los puntos, los surcos y los cuencos. Según Jelinek (1995), los signos simples o simplificados fueron usados por necesidades comu-

nicativas pictóricas, aunque no se entienda todavía el significado de esa comunicación. Para el caso de algunos surcos, encontrados en paredes verticales u horizontales (Figs. 9A y B), en ocasiones formando grandes grupos, Soukopova (2018) propone que podrían representar seres humanos, aunque, como señala Le Quellec (2019), cuanto más simple sea un signo, más ambigua puede ser su interpretación.

En el arte rupestre figurativo, los estilos definidos han sido atribuidos a diferentes pe-

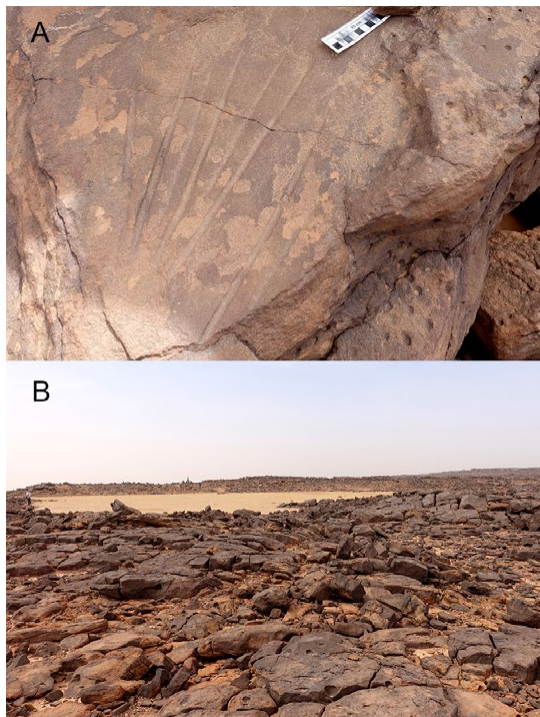


Figura 9. Grabados de surcos en el asentamiento ahora abandonado de Akhreijit (Mauritania; coord. 18.365, -9.154). Existen varios grupos de entre 7 y 13 surcos, todos ellos con el mismo grado de meteorización que la roca sobre la que están excavados, lo que indica que se trata de grabados antiguos. B. Los grabados se encuentran en las proximidades de un pequeño lago temporal, en un rellano situado por encima de una confluencia fluvial.

Figure 9. Carved grooves in the now abandoned town of Akhreijit (Mauritania; coord. 18.365, -9.154). Grouped in sets of 7-13 grooves, all of them display the same weathering degree as the carved surface, indicating they are old engravings. B. These engravings lie close to a small ephemeral lake located on a flat, several metres above a river confluence.

riodos. Pero estos estilos, en ocasiones muy locales, no pueden considerarse representativos de todo el Sáhara. Así, entre otros, se habla de:

- estilo Kel Essuf (Tadrart, Argelia), considerado por algunos como el arte antropogénico más antiguo del Sáhara (ver p. ej. Striedter y Tauveron, 2002-2003);
- estilo Iheren (Tassili, Argelia) caracterizado por trazos finos y delicados con abundantes representaciones de ovejas y cabras (Muzzolini, 1981; Fig. 10);
- estilo Niola Doa (Ennedi, Chad), grandes antropomorfos con los cuerpos decorados y marcada esteatopigia (Gauthier y Gauthier, 2016-2017);
- estilo Uweinat (suroeste de Egipto y Sudán del Norte), ganado vacuno con las patas traseras separadas y las ubres bien marcadas (véase p. ej. Le Quellec, 2016);
- estilo Laas Geel (Somalilandia y Etiopía), perfiles de vacuno, de espalda plana, con un “adorno” rodeando el cuello (véase p. ej. Gurtherz y Joussaume, 2018).

En una propuesta de clasificación del arte rupestre extensible a todo el Sáhara, Aïn-Séba (2022) distingue los siguientes periodos:

- (i) Periodo Bubalino, también conocido como Periodo de la Fauna Salvaje. Es el más antiguo y corresponde a los cazadores-recolectores.
- (ii) Periodo Pastoril o Bovidiano.
- (iii) Periodo del Caballo.
- (iv) Periodo del Camello.

Para este autor, las representaciones en pinturas y grabados transmiten la evolución del medio —condicionado por el clima— y de ahí la evolución del arte rupestre.

En el periodo Bubalino, entre hace 12-8 ka, aparecen hipopótamos, rinocerontes, ele-



Figura 10. Pintura de estilo Iheren (Tassili n'Ajjer, Argelia). De los animales domésticos, el buey es el animal más representado, aunque también son frecuentes las ovejas y las cabras (Muzzolini, 1981). Obsérvese la cornamenta en forma de lira y la delicadeza de los detalles, especialmente de las pezuñas. Las formas arqueadas en la esquina superior derecha y en la inferior izquierda corresponden a nidos de avispa actuales.

Figure 10. Painting in the Iheren style (Tassili n'Ajjer, Algeria). The ox is the most represented domestic animal, although sheep and goats are also frequent (Muzzolini, 1981). Notice the lira-like horns and the accuracy of details like the hooves. The arched forms featured in the upper right and bottom left corners correspond to modern wasp's nests.

fantes, jirafas y cocodrilos, lo que sugiere un entorno de sabana, similar al que se encuentra en la actualidad al sur del Sahel, con agua abundante, ríos y una vegetación capaz de soportar a los grandes herbívoros. El realismo y los detalles de las representaciones indican un conocimiento profundo de los animales del entorno (Aïn Séba, 2022; Fig. 11); aunque no son muy frecuentes, también se representan peces. Otros periodos definidos localmente, pero muy conocidos, como el de las Cabezas Redondas (hace ~9.5-7 ka; del Tassili) y el Kel Essuf (del Tadrart), se asignan a finales del Pleistoceno-principios del Holoceno y, por tanto, también se encontrarían entre los más antiguos.

En el periodo Pastoril (hace ~8-4 ka), los humanos se representan en escenas de pastoreo, a

veces con lanzas —se cree que las utilizaban para defender a su ganado de posibles robos, lo que significa que habría una lucha por la riqueza (Lenssen-Erz, 2007)— pero también en escenas de la vida familiar.

Aïn-Séba asocia al siguiente periodo, el del Caballo (hace unos 3-2 ka), a las representaciones de humanos con forma bitriangular; y aunque en ese momento se continúa representando ganado, se observa que ahora las cabras son más numerosas que el ganado vacuno. En las pinturas de este periodo aparecen por primera vez las palmeras datileras, lo que sugiere también un entorno más árido que en el periodo anterior.

Por último, en el primer milenio antes de nuestra era, tiene lugar la introducción



Figura 11. Grabado de rinoceronte (Wadi Gonoa, macizo del Tibesti; coord. 21.311, 16.893).

Figure 11. Carving representing a rhino (Wadi Gonoa, Tibesti Massif; coord. 21.311, 16.893).



Fig. 12. Abu Ballas (Colina de la cerámica; coord. 24.439, 27.649). Restos del almacenamiento de vasijas egipcias utilizadas para dar de beber a los burros que hacían el trayecto desde el oasis de Dakhla hasta Gilf Kebir, y probablemente Uweinat, con destino final desconocido. Las vasijas de barro tenían una capacidad de hasta 30 litros y pesaban unos 15 kg, por lo que el transporte del agua debía de hacerse en pieles de cabra. Esta ruta, atravesando el desierto de Libia, se estableció a finales del Periodo Antiguo de Egipto, hace unos 4200 a AP o ligeramente más tarde (Förster *et al.*, 2010).

Figure 12. Abu Ballas (Pottery Hill; cord. 24.439, 27.649). Remains of Egyptian pottery used to water donkeys on the journey between the Dakhla oasis and, at least, Gilf Kebir, probably reaching Uweinat or a further unknown final destination. The water jars, with a tare weight close to 15 kg, could contain about 30 litres each. Water was probably transported to this point in bags made of goat skins. This trail, crossing the Libyan desert, was established at the end of the Old Kingdom, around 4200 yr ago or slightly later (Förster *et al.*, 2010).

—desde Asia a través de Egipto— del camello (Kuper, 2007), animal que viene a sustituir al burro como animal de carga por sus menores necesidades de agua (Fig. 12), y quizá también por la mayor facilidad que presenta para desplazarse por los terrenos arenosos, cada vez más extensos. La llegada del camello marca el periodo más reciente (desde unos 2 ka a la actualidad). Además de la presencia del camello, la localización del arte rupestre cerca del lecho de los *wadis* indica que los cursos de agua ya tenían menos actividad que en épocas anteriores. Aunque antes de la llegada del camello, las caravanas ya atravesaban el desierto siguiendo unas rutas de comercio establecidas durante el Imperio Faraónico Antiguo, rutas que posteriormente serían aprovechadas por los romanos (Förster *et al.*, 2010). En esas travesías del desierto, se orientaban siguiendo montículos rocosos (denominados *alamat* en árabe) que destacaban topográficamente sobre el fondo arenoso.

4.1.1. El Sáhara central y oriental

Considerando los trabajos realizados en áreas geográficas más restringidas, son de destacar dos zonas que han recibido un especial interés en la datación del arte rupestre: (a) el Sáhara central y (b) la zona situada al suroeste de Egipto.

(a) En el Sáhara central, los macizos del Mesak (Libia) Acacus-Tadrart (Libia y Argelia) y Tassili n'Ajjer (Argelia), con un elevado número de yacimientos con pinturas y grabados de diferentes estilos, constituyen una fuente importante de información sobre las diferentes épocas de ocupación de este territorio, con posibles correlaciones con el resto del Sáhara.

Según Gallinaro (2013), tanto por su proximidad como por la gran cantidad de arte rupestre que contienen, representan un conjunto adecuado para analizar el legado artístico de los pobladores del Sáhara en un contexto ambiental y socio-cultural. Para esta autora, se trata de una zona clave para el estudio del arte rupestre en el Sáhara, donde habría sur-

gido a principios del Holoceno. Partiendo de los trabajos realizados desde los años 60 del siglo pasado, ampliados por los estudios más recientes, establece que, a grandes rasgos, a las comunidades cazadoras-recolectoras siguió una sociedad pastoril y el desarrollo del estado garamante, hasta llegar a la ocupación actual del territorio por los tuaregs. Los primeros grupos de cazadores-recolectores colonizarían estos macizos entre 9.8 y 8.9 ka AP, pero, algo después, entre los 8.9 y 7.4 ka AP, tendría lugar un cambio cultural brusco: los cazadores-recolectores-pescadores utilizan las zonas montañosas de forma más intensa, aparecen utensilios relacionados con la tarea de moler y hay indicios de que se habían establecido contactos con zonas situadas más al este y al sur.

A continuación, entre los grupos pastoriles se reconocen al menos cuatro fases de ocupación que se pueden resumir de este modo:

- (i) entre 7.4 y 6.4 ka AP, una etapa caracterizada por la explotación de animales domésticos (bóvidos y ovicaprinus);
- (ii) la adopción de la estrategia de la trashumancia entre las montañas y las tierras bajas durante el sexto milenio AP;
- (iii) otra etapa, entre los 5 y 3.3 ka AP, en la que aumenta la movilidad, se reduce el uso de las plantas y aumenta la explotación de los ovicaprinus por su mayor resistencia a las condiciones del entorno;
- (iv) el final de los grupos pastoriles, entre 3.3 y 2.7 ka AP, en un área restringida (Wadi Tanezzuft), en la que las prácticas funerarias ya apuntan a una estratificación social, y sientan las bases para el desarrollo de la cultura garamante.

Respecto a los estilos de arte rupestre, Gallinaro (2013) distingue los siguientes: Fauna Salvaje (o Bubalino), estilo de las Cabezas Redondas, estilo Pastoril o Bovidiano, estilo del Caballo/Bitriangular y estilo del Camello. Esta autora considera necesario introducir un

nuevo estilo, el del Camello Moderno, que mediante pinturas y grabados marca escenarios de ocupación reciente, reproduciendo coches de cuatro ruedas, armas automáticas o grabados de hombres con zapatos de tacón (Lenssen-Erz, 2012; di Lernia, 2015). Según Lenssen-Erz, algunos nómadas siguen realizando grabados sin ningún objetivo concreto, de forma similar a lo observado en el lago Turkana, donde los pastores lo hacen como pasatiempo.

(b) Hacia el este, para la zona del desierto de Libia situada en el suroeste de Egipto (Gilf Kebir y Uweinat), un área con abundante arte rupestre, Riemer *et al.* (2017), recogiendo una cronología anterior (Riemer, 2013), no encuentran evidencias de ocupación durante el Pleistoceno y proponen tres fases de ocupación humana en el Holoceno. Los primeros cazadores-recolectores llegarían a la zona poco después de hace unos 10 500 a, cuando el monzón traería lluvia ocasionalmente a Gilf Kebir (Fig. 13A) y de forma regular a Uweinat, un macizo volcánico situado unos 150-200 km más al sur. Esta primera fase, denominada Gilf A duraría en torno a 2000 años y parece estar poco representada en los yacimientos arqueológicos. Para estos autores, la mayor parte del arte de la región no tiene más de 8500 a. En ese momento, con la introducción de la cerámica —que proporcionaría nuevas formas de almacenamiento, favoreciendo probablemente asentamientos semipermanentes— empezaría la fase Gilf B, marcada por una gran producción de pinturas y grabados, que duraría hasta hace 6400 a. Y es durante esta fase cuando la ocupación de Wadi Sura adquiere más relevancia. El abrigo más importante de la zona, la cueva de las Bestias (también conocida como Wadi Sura II, Fig. 13B), que Honoré (2017) relaciona con los cazadores-recolectores, contiene un gran número de figuras individuales (unas 8000; Förster y Scheid, 2015). Este hecho, unido a la superposición de las diferentes pinturas, ha sido interpretado como un largo periodo de uso, si bien Riemer *et al.* (2017) estiman que la mayor parte de las pinturas de Wadi Sura fueron realizadas principalmente en el



Figura 13. A. Vista hacia el sur desde la meseta de Gilf Kebir (coord. 23.424, 25.711). La red fluvial está generalmente inactiva, excepto en momentos de fuertes precipitaciones. Este relieve constituiría uno de los refugios ecológicos a los que se retiró la población al final del PHA (Kuper y Kröpelin, 2006; Larrasoña, 2012). B. Pinturas de la cueva de las Bestias (Wadi Sura II; coord. 23.653, 25.160). Se distinguen varias figuras humanas —una de ellas una mujer—, las patas de un avestruz, un par de gacelas que parecen dirigirse hacia una laguna y algunos animales no identificados, además de negativos de manos. Por encima de las gacelas hay un grabado burdo con forma humana, que podría ser un acto vandálico.

Figure 13. A. View to the south of the Gilf Kebir plateau (coord. 23.424, 25.711). The fluvial network is currently inactive, except during strong rainstorm periods. The hominid population retreated to this ecological refuge when rains decreased at the end of the African Humid Period (Kuper y Kröpelin, 2006; Larrasoña, 2012). B: Paintings in the Cave of the Beast (Wadi Sura II; coord. 23.653, 25.160) representing some humans —a woman among them—, ostrich legs, a pair of gazelles seemingly moving towards a lagoon and other unidentified animals, in addition to some hands in negative. The coarse human-shaped engraving above the gazelle is likely the result of a modern vandalistic act.

intervalo entre hace 7500 y 7000 a. Las figuras sin cabeza que parecen comer personas, de la cueva de las Bestias, indican un nivel de espiritualidad grande. Tanto estos monstruos como los denominados “nadadores” de Wadi Sura I sugieren un elevado grado de abstracción y simbolismo (Zboray, 2010; Riemer *et al.*, 2017).

Las pinturas de ganado —en su mayoría vacuno— más modernas, las atribuyen a la fase Gilf C, y se encuentran en algunos lugares de la zona a partir de hace 6400 a, principalmente en Uweinat. Relacionan la introducción del pastoreo de ganado vacuno con un cambio determinado por el clima, el comportamiento humano y los usos del suelo, y calculan que los pastores nómadas abandonaron la zona, al aumentar las condiciones de aridez, hace unos 5500 a.

4.2. Lo que nos transmite el arte rupestre

Además de su valor artístico, el arte rupestre proporciona una información diversa que puede ayudarnos a entender no solo los cambios ambientales provocados por la variabilidad del clima (Heyd y Lenssen-Erz, 2012), sino que, como se apunta más atrás, también ofrece detalles de la vida cotidiana e incluso aspectos sociales o individuales de los pobladores del Sáhara durante el último periodo húmedo. De forma similar al contenido fosilífero de un yacimiento, pinturas y grabados pueden ser considerados como un registro de los animales que había en la zona en el momento de la creación artística, al ser el resultado de una percepción directa del individuo del mundo que lo rodea (Guagnin, 2014; Aïn-Séba, 2022).

Para una ocupación humana más antigua, Vignaud *et al.* (2002), analizando en el norte de Chad la fauna que acompaña al homínido *Sahelanthropus tchadensis* (de hace 6-7 Ma), realizan una reconstrucción paleoambiental interpretando la diversidad de hábitats del entorno; estos incluyen praderas (bóvidos), sabana boscosa (proboscídeos y jirafas), agua

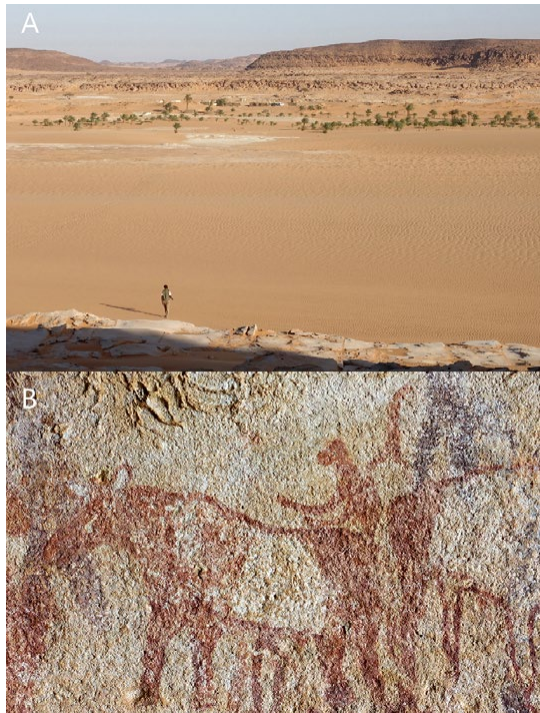


Figura 14. A. Abrigo en Bembeche (Chad; coord. 18.573, 19.625). Situado entre los macizos del Ennedi y del Tibesti a unos 100 km al noreste de la población de Fada, en la actualidad está ocupado por un grupo humano muy reducido. La existencia de un pequeño palmeral indica que el nivel freático está a poca profundidad. B. En los grabados de esta zona se representan jirafas, rinocerontes, elefantes, bóvidos y un grupo de óryxes. Entre las pinturas, se encuentran principalmente ganado vacuno y hombres con arcos y flechas. Destaca la presencia de un mono, animal poco representado y otro aún menos frecuente, el tapir, no citado con anterioridad.

Figure 14. A. The Bembeche shelter (Chad; coord. 18.573, 19.625), located between the Ennedi and Tibesti Massifs, around 100 km to the northeast of Fada, it is at present a very small settlement. The presence of some palm trees indicates a phreatic level close to the surface. B. Engravings at this site comprise giraffes, rhinos, elephants, bovids and a group of oryxes. Among the paintings, they mainly represent cattle and men with arcs and arrows. It is worth noting the presence of a monkey, an animal sporadically represented, and of a tapir, not previously reported.

dulce (tortugas, serpientes, cocodrilos, hipopótamos y nutrias) y, probablemente, también bosque de galería (primates). Para épocas más recientes, el estudio del arte rupestre proporciona datos que permiten reconstruir

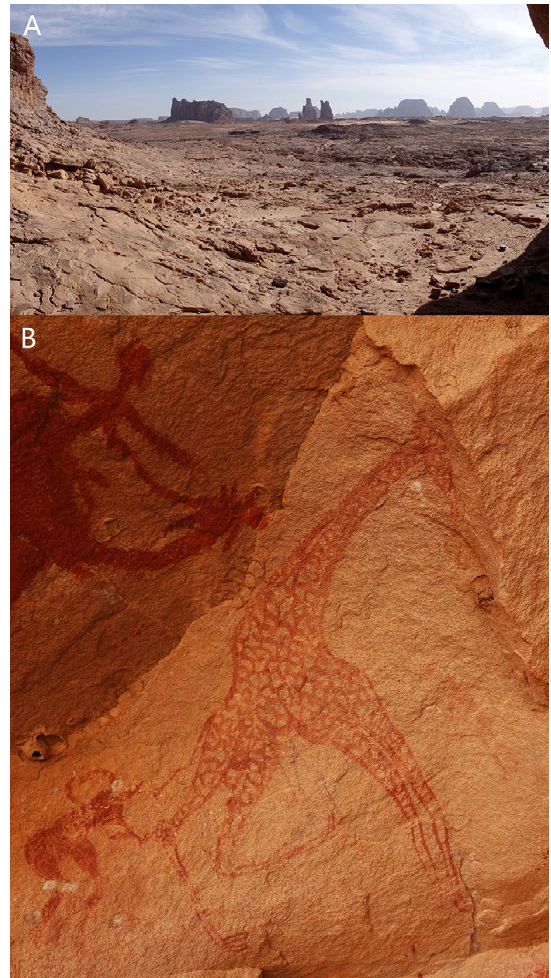


Figura 15. A. Vista hacia el sur desde la entrada del abrigo de Tigui Cocoine (sur del Tibesti, Chad; coord. 19.669, 18.247). B. Representación de una escena de caza activa en la que el cazador está cortando con un hacha los tendones de una de las patas traseras (la otra pata ya está inutilizada), para que la jirafa no pueda huir. Obsérvese el detalle de las dos pezuñas en las patas traseras.

Figure 15. A. View to the south from the entrance of the Tigui Cocoine shelter (southern Tibesti, Chad; coord. 19.669, 18.247). B. Painting depicting a scene of active hunting. The hunter is cutting the tendon of a rear leg of a giraffe using an axe (the other leg is already disabled) to prevent the animal from escaping. Notice the details of the two rear hooves.

el ambiente de las áreas circundantes completando la información aportada por otros registros del Sáhara sobre los cambios en el medio desde finales del Pleistoceno (p. ej. Figs. 14A y B).



Figura 16. Girafa y posible trampa para cazarlas (a la derecha). Wadi Mathendous (Libia; coord. 25.764, 12.171). Una de las líneas, en la parte inferior, parece continuarse y terminar en un lazo. La meteorización del otro círculo indica que es más reciente (¿un acto vandálico?). En la parte inferior derecha, pintura similar a la trampa anterior (Aske, Ennedi, Chad); compárese con la Fig. 8B de Assefa *et al.* (2014).

*Figure 16. Giraffe and possibly a hunting trap (on the right). Wadi Mathendous (Libia; coord. 25.764, 12.171). One of the lines, in the lower part, seems to end forming a loop. The degree of weathering of a second circle indicates a more recent making (a vandalistic act?). Bottom right inset shows a painting similar to the former trap (Aske, Ennedi, Chad); compare with Fig. 8B from Assefa *et al.* (2014).*

Tanto en pinturas como en grabados, entre los animales salvajes terrestres se encuentran elefantes, jirafas, avestruces, bóvidos (gacelas, antílopes, muflones y búfalos), rinocerontes, felinos (leones y otros indeterminados) y monos (babuinos y otras especies). Los animales acuáticos reproducidos con más frecuencia son los cocodrilos, aunque también se han encontrado peces y tortugas. En el periodo de los cazadores-recolectores, la fauna salvaje constituía una fuente de alimentación,

por lo que son frecuentes las escenas de caza. Entre los métodos de caza activos, Zboray (2012) muestra el uso de arcos y flechas en la caza de jirafas en Uweinat (suroeste de Egipto). En el Tibesti (Chad), las jirafas eran cazadas con hachas (Figs. 15A y B). En ocasiones, intervenían perros, como muestra una escena del Acacus, Libia, en la que varios canes persiguen a un muflón. En cuanto a los métodos de caza pasivos, existen figuras geométricas entre los grabados de Wadi Mathendous (Libia) y en las pinturas del Ennedi (Chad) que podrían corresponder con trampas (Fig. 16). Riemer (2009) describe una de estas trampas, formada por un anillo de fibra de palma tachonada con espinas de acacia. Gallinaro y di Lernia (2018) reproducen esta misma imagen y la asocian con la caza de animales salvajes. Una trampa similar ya había sido representada por Monod (1937) en su trabajo sobre el Sáhara.

Posteriormente, con la neolitización, aparecen las escenas de pastoreo. En general, los animales salvajes preceden a los domésticos (caballos, burros, ovejas, cabras y, más recientemente, camellos), aunque existen excepciones; Zboray y Rossi (2020) describen en el Ennedi una escena en la que hombres a camello persiguen a un avestruz y citan otra escena en la que la caza del avestruz se superpone a figuras de ganado. Zboray (2021) también señala que las jirafas fueron cazadas en Uweinat hasta hace unos 4 ka, cuando se supone que el ambiente ya era demasiado seco para poder soportar una economía pastoril.

La gran similitud en el arte rupestre de los dos macizos, Gilf Kebir y Uweinat, ha sido interpretado por Honoré (2017) como una prueba de que, debido a la elevada estacionalidad de las lluvias, los grupos que vivían en esta zona, principalmente los cuidadores de ganado, se vieron obligados a moverse entre áreas relativamente distantes.

El arte de los antiguos pobladores del Sáhara nos informa sobre la fauna del entorno desde finales del Pleistoceno y sobre las actividades humanas cotidianas (escenas de caza y de

pastoreo), los detalles de sus moradas (cestas colgadas del techo de las viviendas), sus actividades lúdicas (hombre tocando el arpa, Ennedi) y también sobre algunos aspectos personales (Fig. 17). En ocasiones nos permiten llegar a conocer sus características físicas, como un posible caso de polidactilia en el Ennedi, o la esteatopigia de los grabados estilo Niola Doa, también identificable en algunas pinturas (Figs. 18A y B). No falta, incluso, algún rasgo geológico, como la laguna representada en Wadi Sura II, a la que se acercan a beber un par de gacelas (Fig. 13B).

Uno de los grandes problemas del arte rupestre en general es su conservación (Zerboni et

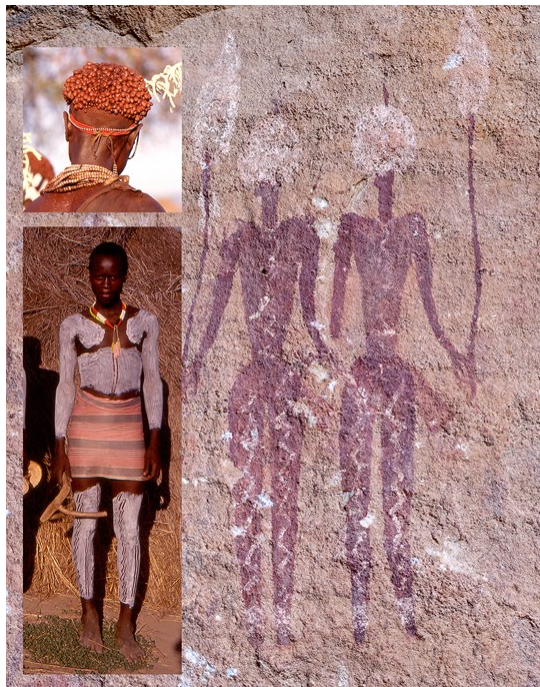


Figura 17. Guerreros de estilo Tamada (Menardi Noguera, 2018; Ennedi, Chad). La práctica de decorar el cuerpo y la cabeza con barro se practica en la actualidad en las tribus hamer, karo, konso y mursi (valle del Omo, Etiopía). El color blanco de la punta de la lanza ha sido interpretado como un metal (Menardi Noguera, 2023).

Figure 17. Tamada-style warriors (Menardi Noguera, 2018; Ennedi, Chad). Mud-made body and head decoration is used presently by the Hamer, Karo, Konso and Mursi tribes (Omo River, Ethiopia). White colour spearheads have been interpreted as made of metal (Menardi Noguera, 2023).



Figura 18. A. Dos mujeres, una de ellas con seis dedos en ambas manos, un caso probable de polidactilia. B. Pintura de mujer con esteatopigia. Ennedi (Chad).

Figure 18. A. Two women, one of them with six fingers on both hands, a likely case of polydactyly. B. Painting of a woman with steatopygia. Ennedi (Chad).

al., 2022). En el Sáhara, además de la dispersión y del escaso o nulo control que se puede tener de alguno de los lugares a causa de la mala accesibilidad, existen otras dificultades difíciles de controlar, como señala Mire (2015) para Somalilandia, donde los refugios protegidos están infestados de avispa (p. ej. Fig. 10). Por si esto fuera poco, no faltan grafitis recientes y vandalismo intencionado (p. ej. Figs. 13B y 16).

5. Otras manifestaciones antrópicas del Periodo Húmedo Africano

Al finalizar el PHA, la disminución de las precipitaciones intensificó la competencia entre la población sahariana por los cada vez más

escasos recursos, provocando con ello un aumento de la territorialidad entre los diferentes grupos pastoriles y haciendo que las sociedades se volvieran progresivamente más complejas y organizadas (Brooks, 2006). Dejando a un lado el arte rupestre, hay que mencionar también otras huellas de la presencia de estas sociedades pastoriles, entre las que destacan los túmulos funerarios y las construcciones utilizadas para la caza de animales, ambos en piedra seca.

Los túmulos funerarios, denominados habitualmente tumbas preislámicas, aunque aparecen en todo el territorio sahariano, tienden a concentrarse en determinadas zonas. Esta arquitectura megalítica, que para di Lernia (2002) se desarrollaría a partir de finales del sexto milenio AP, es un indicador del nacimiento de una estratificación social que Brooks *et al.* (2006) asocian con un aumento de la aridez desde mediados a finales del Holoceno, hace aproximadamente entre 6 y 2 ka. Según Le Quellec (2013), los monumentos funerarios del Tassili datarían de hace unos 5 ka, mientras que Biagetti (2023) los atribuye a la cultura garamante. Estas construcciones,



Figura 19. Túmulos en “ojo cerradura” (Tassili, Argelia; coord. 25.431, 8.114). Los dos ejemplos mostrados en la imagen forman parte de un grupo de seis monumentos, de tamaño variable, todos orientados hacia el sureste. Imagen de satélite: Bing Maps.

Figure 19. Keyhole-style tumuli (Tassili, Algeria; coord. 25.431, 8.114). The two examples shown in the photograph form part of a group of six, of varying sizes, all of them facing to the southeast. Satellite image: Bing Maps.

frecuentemente muy sencillas, a veces simples montículos de piedras que, aparentemente, no muestran ninguna estructura o disposición particular, pueden llegar a presentar formas complejas; es el caso de la del Tassili denominadas en “ojo de cerradura”—que Le Quellec (2013) asocia con el arte rupestre de estilo Iheren— y las del Tibesti, en forma de “gota”, que Gauthier (2023) ha denominado piriformes o *Kompaßgräber*; en ocasiones, alcanzan grandes dimensiones con más de 100 m de longitud (Figs. 19 y 20).

En el Sáhara Occidental, Brooks *et al.* (2006) describen diez tipos de construcciones diferentes, a veces con orientaciones marcadas, bien por el eje del monumento, bien por algún elemento asociado a ellos, como piedras de mayor tamaño; en el caso de los tipos que presentan forma de media luna, la mayoría se abren hacia el este-sureste. Clarke y Brooks (2019) diferencian 32 grupos morfológicos entre monumentos funerarios y otras construcciones cuya función no han conseguido descifrar. Por su parte, Rodríguez-Antón *et al.* (2023), en un trabajo realizado también en el Sáhara Occidental, distinguen cuatro tipos principales y concluyen que la orientación este-sureste, que relacionan con la Luna, es la que predomina cuando se analiza todo el conjunto. En cambio, el análisis de un grupo de tumbas piriformes situadas al noroeste del Tibesti, realizado para el presente trabajo, ha dado como resultado una clara orientación hacia el este (Fig. 20).

Para Zboray (2023), las estructuras del Tassili en forma de “ojo de cerradura” se orientan preferentemente hacia la salida del Sol, tanto durante el solsticio de invierno como en el de verano. Gauthier y Gauthier (2006) opinan que son, sin duda, monumentos funerarios, mientras que, recientemente, Zboray (2023), relacionando su tamaño con el estatus relativo de la comunidad que las construyó, les atribuye una función social, aún desconocida. Este mismo autor concluye que, aunque comparten espacio con las pinturas de estilo Iheren, no parece que exista relación entre ambas, pues este estilo

pictórico no muestra ninguna evidencia de estratificación social.

En cuanto a las estructuras de caza en el oeste del Sáhara están formadas, por lo general, por dos largas paredes convergentes que forman una uve que, a su vez, conduce a uno o a varios recintos de planta ovalada. Por su morfología, se pueden agrupar en cuatro tipos (Barge *et al.*, 2022). En un trabajo anterior, realizado en la zona del Caspio-Aral, Barge *et al.* (2016) ya habían descrito unas construcciones de caza que denominaron “cometas del desierto”, las cuales habían estado en uso hasta tiempos recientes; estos autores las relacionaron con rutas de migración de animales.

Por su parte, Riemer (2004) describe en el suroeste de Egipto (coord. 24.738, 27.292) unas alineaciones de piedras —citadas ya en 1985 por Haynes— de unos 4 km de longitud, a las que atribuye una edad probablemente anterior a 6 ka AP. Posteriormente, este mismo autor (Riemer, 2009) interpreta que estas estructuras encontradas en el este del Sáhara podrían guardar relación con el método de caza pasivo, donde los grupos humanos serían pequeños e insuficientes para una caza activa.

En la región de Ahnet (sur de Argelia), Maestrucci y Gianelli (2023) detectan cerca de 500 estructuras —alineamientos de piedras formando paredes de baja curvatura que convergen hacia cámaras con forma ovalada— que les recuerdan a las “cometas” del Oriente Medio utilizadas para cazar. El objetivo sería que los animales no fueran capaces de escapar, encontrándose frente a las cámaras donde estarían apostados los cazadores. En esta región de Argelia, la distribución de las trampas muestra una relación estrecha con puntos de agua (*wadis* y *gueltas*), con zonas de pasto y con depresiones; según Crassard *et al.* (2023) las orientaciones preferentes sugieren que tales estructuras funcionaban como trampas para cazar animales durante su migración. Hacia el este, en el Tibesti, existen numerosas construcciones parcialmente destruidas, situadas en la orilla de un antiguo curso fluvial

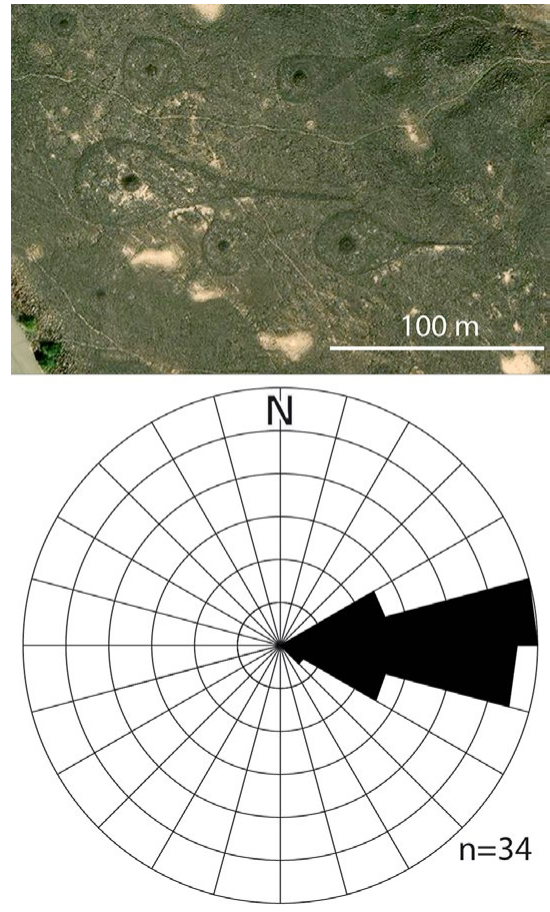


Figura 20. A. Túmulos piriformes (Tibesti, Chad; coord. 21.509, 16.655). Imagen de satélite: Bing Maps. B. Diagrama en rosa mostrando la orientación de un conjunto de túmulos piriformes del Tibesti.

Figure 20. A. Kompassgräber tumuli (Tibesti, Chad; coord. 21.509, 16.655). Satellite image: Bing Maps. B: Rose diagram showing the orientation of a group of kompassgräber tumuli in the Tibesti.

(p. ej. coord. 21.273, 17.037; 21.207, 17.060), aunque las imágenes de satélite no permiten distinguir si se trata de estructuras de caza o de antiguos apriscos.

Cuando las trampas fueron construidas, estos lugares probablemente recibirían aún lluvias regulares asociadas al último periodo húmedo del Holoceno y, aunque se cree que se usaron para cazar ungulados como en Oriente Medio y en los desiertos de Asia, no se descarta que también hayan sido utilizadas para cazar avestruces.

6. Conclusiones

Los cambios en la posición del eje de rotación de la Tierra han tenido consecuencias muy marcadas en el clima del norte de África, provocando una alternancia de periodos secos y húmedos, con el consiguiente cambio de biomas en las zonas afectadas por estas variaciones del clima e influyendo igualmente en las migraciones humanas desde hace, al menos, unos 6-7 Ma. El periodo húmedo más reciente, denominado Periodo Húmedo Africano, constituye un buen ejemplo de cambio climático a corto plazo y que, aunque es atribuible a las variaciones orbitales, también guarda relación con la deglaciación y los eventos fríos que tuvieron lugar en el Atlántico Norte. Queda por determinar la importancia que otros factores aún no bien conocidos —como la retroalimentación con el terreno, la atmósfera y el océano— hayan podido tener en este cambio climático. Sobre la finalización del periodo húmedo, determinado principalmente por la posición del eje de rotación terrestre, existen discrepancias acerca de cuánta influencia pudo tener la topografía o en qué medida las actividades humanas hayan podido ralentizar o acelerar el proceso de aridificación. Tampoco hay acuerdo sobre si el proceso se produjo o no simultáneamente en todo el territorio o si fue un cambio abrupto o gradual.

Con respecto al arte rupestre sahariano, hay muchas lagunas por rellenar y que, de ser resueltas, permitirían mejorar las clasificaciones existentes. En este sentido, uno de los principales objetivos sería obtener dataciones numéricas o, al menos, poder relacionar este arte con depósitos bien datados, un conocimiento que sin duda facilitarían la correlación de los estilos definidos en diferentes zonas.

La autora no tiene constancia de que, hasta la fecha, algunos aspectos recogidos en este trabajo —como la polidactilia representada en el Ennedi, la presencia de un tapir en un abrigo de Bembeche, o la caza de jirafas mediante la rotura de los tendones de las patas— hayan sido citados, por lo que podrían ser conside-

rados como nuevas aportaciones al conocimiento del arte rupestre sahariano.

En su estudio, a la fragilidad, gran dispersión e irregular distribución del arte rupestre sahariano se añaden otras dificultades como son las enormes dimensiones de este desierto, la falta de infraestructuras y la imposibilidad, incluso el gran riesgo, que supone visitar muchas de las zonas de interés, afectadas bien por conflictos bélicos o por la presencia de grupos terroristas. Pero, hoy día, incluso en estas desfavorables condiciones se siguen produciendo hallazgos, permitiendo con ello el progreso en el conocimiento de unas expresiones artísticas que han fascinado a generaciones de viajeros y de investigadores.

Agradecimientos

A Ángeles Bárcena y a un revisor anónimo por sus valiosos comentarios y sugerencias. A Javier Elez por su labor editorial. Y, a Elisa Villa que, con sus comentarios, contribuyó a mejorar el manuscrito original.

Bibliografía

- Aïn-Séba, N. (2022). Saharan rock art, a reflection of climate change in the Sahara. *Revista Tabona*, 22, 303-317. <https://doi.org/10.25145/j.tabona.2022.22.15>
- Alsherif, A. (2014). The history of rock art research in the Tadrart Acacus (Southwest Libya). *Adoranten*, 2014, 97-102.
- Assefa, Z., Pleurdeau, D., Duquesnoy, F., Hovers, E., Pearson, O., Asrat, A., T/Tsion, C., Lam, Y.M. (2014). Survey and explorations of caves in southeastern Ethiopia: Middle Stone Age and Later Stone Age archaeology and Holocene rock art. *Quat. Int.*, 343, 136-147. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.07.132>
- Bahn, P. (2012). North Africa's Place in Rock Art Research. In: The signs of which times? Chronological and Palaeoenvironmental Issues in the Rock Art of Northern Africa (D. Huyge, F. Van Noten, D. Swinne, eds). Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen, Brusel, 7-27.

- Barber, D.C., Dyke, A., Hillare-Marcel, C., Jennings, A.E., Andrews, J.T., Kerwin, M.W., Bilodeau, G., McNeely, R., Southon, J., Morehead, M.D., Gagnon, J.-M. (1999). Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes. *Nature*, 400, 344-348. <https://doi.org/10.1038/22504>
- Barge, O., Balaesque, L., Baudoin, J.-L., Boelke, M., Derrien, L. (2022). Hunting in the desert: assessing the form and use of kite-like structures in the western Sahara. *Antiquity*, 2022, 1-8. <https://doi.org/10.15184/aqy.2022.35>
- Barge, O., Brochier, J.E., Deom, J.-M., Sala, R., Karakhanyan, A., Avagyan, A., Plakhov, K. (2016). The “desert kites” of the Ustyurt plateau. *Quat. Int.*, 395, 113-132. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.06.010>
- Berger, A. (1988). Milankovitch theory and climate. *Reviews of Geophysics*, 26, 624-657. <https://doi.org/10.1029/RG026i004p00624>
- Biagetti, S. (2023). Human Activity and Occupation in the Sahara. In: *Landscapes and Landforms of the Central Sahara* (J. Knight, S. Merlo, A. Zerboni, eds.). Springer Nature, Switzerland, 153-160. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47160-5_16
- Blanchet, C.L., Osborne, A., Tjallingii, R., Ehrmann, W., Friedrich, A.T., Brückmann, W., Frank, M. (2021). Drivers of river reactivation in North Africa during the last glacial cycle. *Nature Geoscience*, 14, 97-103. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-00671-3>
- Blanchet, C.L., Ramisch, A., Tjallingii, R., Ionita, M., Laruelle, L., Bagge, M., Klemann, V., Brauer, A. (2024). Climatic pacing of extreme Nile Floods during the North African Humid Period. *Nature Geoscience*, 17, 638-644. <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01471-9>
- Blanchet, C.L., Tjallingii, R., Frank, M., Lorensen, J., Reitz, A., Brown, K., Feseker, T., Brückmann, W. (2013). High - and low-latitude forcing of the Nile River regimen during the Holocene inferred from laminated sediments of the Nile deep-sea fan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 364, 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.01.009>
- Bosmans, J.H.C., Drijfhout, S.S., Tuentner, E., Hilgenm F.J., Lourens, L.J., Rohling, E.J. (2015). Precession and obliquity forcing of the freshwater budget over the Mediterranean. *Quat. Sci. Rev.*, 123, 16-30. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.06.008>
- Braconnot, P., Marzin, C., Grégoire, L., Mosquet, E., Marti, O. (2008). Monsoon response to changes in Earth’s orbital parameters; comparison between simulations of the Eemian and of the Holocene. *Clim. Past.*, 4, 281-294. <https://doi.org/10.5194/cp-4-281-2008>
- Brierley, C., Manning, K., Maslin, M. (2018). Pastoralism may have delayed the end of the green Sahara. *Nature Communications*, 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06321-y>
- Bristow, C.S., Armitage, S.J. (2016). Dune ages in the sand desert of the southern Sahara and Sahel. *Quat. Int.*, 410, 46-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.062>
- Bristow, C.S., Drake, N., Armitage, S. (2009). Deflation in the dustiest place on Earth: The Bodélé Depression, Chad. *Geomorphology*, 105, 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.12.014>
- Brito, J.C., Martínez-Freiría, F., Sierra, P., Sillero, N., Tarroso, P. (2011). Crocodiles in the Sahara Desert: An Update of Distribution, Habitats and Population Status for Conservation Planning in Mauritania. *PLoS ONE* 6(2): e14734. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014734>
- Brooks, N. (2006). Cultural responses to aridity in the Middle Holocene and increased social complexity. *Quat. Int.*, 151, 29-49. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.01.013>
- Brooks, N., Clarke, J., Crisp, J., Crivellaro, F., Jousse, H., Markiewicz, E., Nichol, M., Raffin, M., Robinson, R., Wasse, A. and Winton, V. (2006). Funerary sites in the “Free Zone”: Report on the second and third seasons of fieldwork of the Western Sahara Project. *Sahara*, 17, 73-94.
- Castañeda, I.S., Múltiza, S., Schfuss, E., Lopes dos Santos, R.A., Sinninghe Damsté, J.S., Schouten, S. (2009). Wet phases in the Sahara/Sahel region and human migration patterns in North Africa. *PNAS*, 106 (48), 20159-20163. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905771106>
- Chandan, D., Peltier, W.R. (2020). African Humid Period Precipitations Sustained by Robust Vegetation, Soil, and Lake Feedbacks. *Geophys. Res. Lett.*, 47, e2020GL088728. <https://doi.org/10.1029/2020GL088728>
- Clarke, J., Brooks, N. (2019). Burial Practices in Western Sahara. In: *Burials, Migration and Identity in the Ancient Sahara and Beyond* (M.C. Gatto, D.J. Mattingly, N. Ray, M. Sterry, eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 341-372. <https://doi.org/10.1017/9781108634311.011>
- Claussen, M., Dallmeyer, A., Bader, J. (2017). Theory and Modeling of the African Humid Period and the Green Sahara. *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*. Oxford University Press USA, 42 pp. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.532>

- Coutros, P.R. (2019). A fluid past: Socio-hydrological systems of the West African Sahel across the long durée. *WIREs Water*. 2019;6:e1365. <https://doi.org/10.1002/wat2.1365>
- Crassard, R., Abu-Azizeh, W., Barge, O., Brochier, J.E., Preusser, F., Seba, H., Kiouche, A.E., Régagnon, E., Sánchez Priego, J.A., Alalki, T., Tarawneh, M. (2023). The oldest plans to scale humanmade mega-structures. *PLoS ONE* 18(5): e0277927. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277927>
- Cremaschi, M., Zerboni, A. (2009). Early to Middle Holocene landscape exploitation in a drying environment: Two case studies from the central Sahara (SW Fezzan. Libya). *C.R. Geoscience*, 341, 689-702. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2009.05.001>
- Cremaschi, M., Zerboni, A., Mercuri, A.M., Olmi, L., Biagetti, S., di Lernia, S. (2014). Takarkori rock shelter (SW Libya): an archive of Holocene climate and environmental changes in the central Sahara. *Quat. Sci. Rev.*, 101, 36-60. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.07.004>
- Darius, F. (2013). Wadi Sura in its environmental setting. In: *Wadi Sura – The Cave of Beasts* (R. Kuper, ed.). Heinrich-Barth-Institute, Köln, 70-79.
- de Boer, B., Peters, M., Lourens, L.J. (2021). The transient impact of the African monsoon on Plio-Pleistocene Mediterranean sediments. *Clim. Past*, 17, 331-334. <https://doi.org/10.5194/cp-17-331-2021>
- deMenocal, P.B. (1995). Plio-Pleistocene African Climate. *Science*, 270, 53-59. <https://doi.org/10.1126/science.270.5233.53>
- deMenocal, P.B. (2014). Marine Sediment records of African Climate Change: progress and Puzzles. *Treatise on Geochemistry*, 14, 99-108. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01228-6>
- deMenocal, P.B., Ortiz, J., Guilderson, T., Adkins, J., Sarnthein, M., Baker, L., Yarusinsky, M. (2000). Abrupt onset and termination of the African Humid Period: rapid climate response to gradual insolation forcing. *Quat. Sci. Rev.*, 19, 347-361. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00081-5](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00081-5)
- deMenocal, P.B., Tierney, J.E. (2012). Green Sahara: African Humid Periods Paced by Earth's Orbital Changes. *Nature Education Knowledge* 3(10):12. 6 pp.
- di Lernia, S. (2002). Dry Climatic Events and Cultural Trajectories: Adjusting Middle Holocene Pastoral Economy of the Libyan Sahara. In: *Droughts, Food and Culture. Ecological Change and Food Security in Africa's Later Prehistory* (F.A. Hassan, ed.). Kluwer Academic Publishers, New York, 225-250. https://doi.org/10.1007/0-306-47547-2_14
- di Lernia, S. (2015). The Archaeology of Rock Art in Northern Africa. In: *The Oxford Handbook of the Archaeology and Anthropology of Rock Art* (B. David, I.J. McNiven, eds). Oxford University Press, Oxford. 35 pp. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190607357.013.17>
- di Lernia, S., Bruni, S., Cislighi, I., Cremaschi, M., Gallinaro, Gugliemi, V., Mercuri, A.M., Poggi, G., Zerboni, A. (2015). Colour in context. Pigments and other coloured residues from Early-Middle Holocene site of Takarkori (SW Libya). *Archaeology Anthropology Sci.*, 22 pp. <https://doi.org/10.1007/s12520-015-0229-4>
- Drake, N.A., Candy, I., Breeze, P., Armitage, S.J., Gasmi, N., Schwenninger, J.L., Peat, D., Manning, K. (2022). Sedimentary and geomorphic evidence of Saharan megalakes: A synthesis. *Quat. Sci. Rev.*, 276, 107318. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107318>
- Eggermont, H., Verchuren, D., Fagot, M., Rumes, B., Bocxlaer, B. van, Kröpelin, S. (2008). Aquatic community response in a groundwater-fed desert lake to Holocene desiccation of the Sahara. *Quat. Sci. Rev.*, 27, 2411-2425. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.08.028>
- Ehrmann, W., Schmiedl, G., Beuscher, S., Krüger, S. (2017). Intensity of African Humid Periods Estimated from Saharan Dust Fluxes. *PLoS ONE* 12 (1): e0170989. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170989>
- Emeis, K.-C., Chulz, H., Struck, U., Rossignol-Strick, M., Erlenkeuser, H., Howell, M.W., Kroon, D., Mackensen, A., Ishizuka, S., Oba, T., Sakamoto, T. and Koizumi, I. (2003). Eastern Mediterranean surface water temperature and $\delta^{18}\text{O}$ composition during deposition of sapropels in the late Quaternary. *Paleoceanography*, 18 (1), 18 pp. <https://doi.org/10.1029/2000PA000617>
- Emeis, K.-C., Tatsuhiko, S., Wehausen, R., Brumsack, H.J. (2000). The sapropel record of the eastern Mediterranean Sea – results of Ocean Drilling Program Leg 160. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 158, 371-395. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00059-6](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00059-6)
- Flores, J.-A., Bárcena, M.A., Sierro, F.J. (2000). Ocean-surface and wind dynamics in the Atlantic Ocean off Northwest Africa during the last 140 000 years. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 161, 459-478. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00099-7](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00099-7)

- Förster, F., Riemer, H., Bolten, A., Bubenzer, O., Hendrickx, S., Darius, F. (2010). Tracing Linear Structures; Remote Sensing, Landscape Classification and the Archaeology of Desert Roads in the Eastern Sahara. In: Towards Interdisciplinarity. Experiences of the Long-term ACA-CIA Project. (W.J.G. Möhlig, O. Bubenzer, G. Menz, eds.) Topics in Interdisciplinary African Studies 16. Rüdiger Köppe Verlag Köln, 49-75.
- Förster, F., Scheid, M.-H. (2015). Range and Categories of Human Representation in the "Cave of Beasts", SW Egypt. International Conference: *What Ever Happened to the People? Humans and Anthropomorphs in the Rock Art of Northern Africa*. Royal Academy for Overseas Sciences, Brussels, 301-319.
- Francus, P., Suchodoletz, H. Von, Dietze, M., Donner, R.V., Boucher, F., Roy, A.-J., Fagot, M., Verschuren, D., Kröpelin, S. (2013). Varved sediments of Lake Yoa (Ounianga Kebir, Chad) reveal progressive drying of the Sahara during the last 6100 years. *Sedimentology*, 60, 911-934. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2012.01370.x>
- Gallinaro, M. (2013). Saharan Rock Art: Local Dynamics and Wider Perspectives. *Arts*, 2, 350-382. <https://doi.org/10.3390/arts2040350>
- Gallinaro, M., di Lernia, S. (2018). Trapping or tethering stones (TS): A multifunctional device in the Pastoral Neolithic of the Sahara. *PLoS ONE* 13 (1): e0191765. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191765>
- Gasse, F. (2000). Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum. *Quat. Sci. Rev.*, 19, 189-211. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00061-X](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00061-X)
- Gatto, M.C., Zerbini, A. (2015). Holocene Supra-Regional Environmental Changes as Trigger for Major Socio-Cultural Processes in Northeastern Africa and the Sahara. *Afr. Archaeol. Rev.*, 32, 301-333. <https://doi.org/10.1007/s10437-015-9191-x>
- Gauthier, Y. (2023). Volcanisme, élevage et climat: trois paramètres clés pour mieux comprendre le peuplement du Tibesti et du Borkou (Tchad septentrional) à l'Holocène. *Cahiers de l'AARS*, 24, 39-58.
- Gauthier, Y., Gauthier, C. (2006). Monuments en trou de serrure et art rupestre: sur la distribution du groupe d'Iheren-Tahilahi/Wa-n-Amil et ses relations avec les autres groupes culturels. *Cahiers de l'AARS*, 10, 79-110.
- Gauthier, Y., Gauthier, C. (2016-2017). Du nouveau en Ennedi (Tchad): remarques sur la chronologie des personnages de type "Niola Doa". *Cahiers de l'AARS*, 19, 105-118.
- Gaviria-Lugo, N., Lächli, C., Wittmann, H., Bernhardt, A., Fring, P., Mohtadi, M., Rach, O., Sachse, D. (2023). Climatic controls on leaf wax hydrogen isotope ratios in terrestrial and marine sediments along a hyperarid-to-humid gradient. *Biogeosciences*, 20, 4433-4453. <https://doi.org/10.5194/bg-20-4433-2023>
- Ghoneim, E., Benedetti, M., El-Baz, F. (2012). An integrated remote sensing and GIS analysis of the Kufrah Paleoriver, Eastern Sahara. *Geomorphology*, 139-140, 242-257. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.10.025>
- Groucutt, H.S., Petraglia, M.D., Bailey, G., Scerri, E.M.L., Parton, A., Clark-Balzan, L., Jennings, R.P., Lewis, L., Blinkhorn, J., Drake, N.A., Breze, P.S., Inglis, R.H., Devés, M.H., Meredith-Williams, M., Boivin, N., Thomas, M.G., Scally, A. (2015). Rethinking the Dispersal of *Homo sapiens* out of Africa. *Evolutionary Anthropology*, 24, 149-164. <https://doi.org/10.1002/evan.21455>
- Guagnin, M. (2014). Patina and Environment in the Wadi al-Hayat: Towards a Chronology for the Rock Art of the Central Sahara. *Afr. Archaeol. Rev.*, 31, 407-423. <https://doi.org/10.1007/s10437-014-9161-8>
- Gurtherz, X., Joussaume, R. (2018). The Laas Geel rock shelters and Holocene rock art in Somaliland. *Inora*, 80, 8 pp.
- Hassanein Bey, A.M. (1925). The lost oases. Thornton Butterworth Limited, London, 316 pp.
- Haynes, C.V. (1985). Quaternary Studies, Western Desert, Egypt and Sudan - 1979-1983 Field Season. National Geographic Society Research report, 16. 269-341.
- Hennekam, R., Jilbert, T., Schnetger, B., de Lange, G.J. (2014). Solar forcing of Nile discharge and sapropel S1 formation in the early to middle Holocene eastern Mediterranean. *Paleoceanography*, 29, 14 pp. <https://doi.org/10.1002/2013PA002553>
- Heyd, T., Lenssen-Erz, T. (2012). Rock art and human dimensions of climate change. In: *L'art pleistocène dans le monde / Pleistocene art of the world / Arte pleistoceno en el mundo*, (J. Clottes, dir.). Actes du Congrès IFRAO, Tarascon-sur-Ariège, septembre 2010, Symposium « Signes, symboles, mythes et idéologie... ». N° spécial de Préhistoire, Art et Sociétés, Bulletin de la Société Préhistorique Ariège-Pyrénées, LXV-LXVI, 2010-2011, CD: p. 1665-1675.

- Honegger, M., Williams, M. (2015). Human occupation and environmental changes in the Nile valley during the Holocene: The case of Kerma in Upper Nubia (northern Sudan). *Quarter. Sci. Rev.*, 130, 141-154. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.06.031>
- Honoré, E. (2017). Prehistoric landmarks in contrasted territories: Rock art of the Libyan Desert massifs, Egypt. *Quat. Int.*, 503, 264-272. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.06.068>
- Jelinek, J. (1995). Considerations on Saharan rock art symbolism. *Anthropologie*, XXXIII/3, 213-220.
- Krätli, S., Huelsebusch, C., Broos, S., Kaufmann, B. (2013). Pastoralism: A critical asset for food security under global climate change. *Anim. Front.*, 3-1, 42-50. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0007>
- Kröpelin, S. (2005). The geomorphological and palaeoclimatic framework of prehistoric occupation in the Wadi Bakht area. *Africa Praehistorica*, 18, 51-65.
- Kröpelin, S. (2007). The Saharan lakes of Ounianga Serir – a unique Hydrological system. In: *Atlas of Cultural and Environmental Change in Arid Africa* (O. Bubenser, A. Bolten, F. Darius, eds). *Africa Praehistorica* 21, Cologne, 54-55.
- Kröpelin, S. (2017). Klimawandel und Besiedlung der Östlichen Sahara seit der letzten Eiszeit. Ein Schlüssel für die Zukunft? In: *Klimagewalten. Treibende Kraft der Evolution* (H. Meller, T. Puttkammer, eds.). Konrad Theiss Verlag, Darmstadt, 404-417.
- Kröpelin, S., Dinies, M., Sylvestre, F., Hoelzmann, P. (2016). Crater palaeolakes in the Tibesti mountains (Central Sahara, North Chad) – New Insights into past Saharan climates. *Geophysical Research Abstracts*, 18, EGU2016-6557, 2016. EGU General Assembly 2016.
- Kröpelin, S., Verschuren, D., Eggermont, H., Coquyt, C., Francus, P., Cazet, J.-P., Fagot, M., Rumes, B., Russell, J.M., Darius, F., Conley, D.J., Schuster, M., von Suchodoletz, H., Engstrom D.R. (2008). Climate-Driven Ecosystem Succession in the Sahara: The Past 6000 Years. *Science*, 320, 765-768. <https://doi.org/10.1126/science.1154913>
- Kuper, R. (2007). Report on the Archaeology of the Gilf Kebir National Park. Heinrich Barth Institute, Cologne, 24 pp.
- Kuper, R., Kröpelin, S. (2006). Climate-Controlled Holocene Occupation in the Sahara: Motor of Africa's Evolution. *Science*, 313, 803-807. <https://doi.org/10.1126/science.1130989>
- Kutzbach, J.E. (1992). Modeling Earth System Changes of the Past. University Corp. for Atmospheric Research, Modeling the Earth System, 3, 377-404.
- Kutzbach, J.E., Guan, J., He, F., Cohen, A.S., Orland, I.J., Chen, G. (2020). African climate response to orbital and glacial forcing in 140,000-y simulation with implications for early modern human environments. *PNAS*, 117-5, 2255-2264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1917673117>
- Kutzbach, J.E., Liu, Z. (1997). Response of the African Monsoon to Orbital Forcing and Ocean Feedbacks in the Middle Holocene. *Science*, 278, 440-443. <https://doi.org/10.1126/science.278.5337.440>
- Larrasoana, J.C. (2012). A Northeast Saharan Perspective on Environmental Variability in North Africa and its implications for Modern Human Origins. In: *Modern Origins: A North African Perspective* (J.-J. Hublin, S.P. McPerron, eds.). *Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology*, 19-34. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2929-2_2
- Larrasoana, J.C., Roberts, A.P., Rholing, E.J. (2013). Dynamics of Green Sahara Periods and Their Role in Hominid Evolution. *PLOS One*, 8-10, e76514, 12 pp. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2929-2_2
- Larrasoana, J.C., Roberts, A.P., Rholing, E.J., Winkhofer, M., Wehausen, R. (2003). Three million years of monsoon variability over the north Sahara. *Clim. Dyn.*, 21, 689-698. <https://doi.org/10.1007/s00382-003-0355-z>
- Le Quellec, J.-L. (2013). A New Chronology for Saharan Rock Art. In: *The World of Rock Art: An Overview of the five Continents* (B. Lal Malla, ed.). New Delhi: Indira Gandhi National Centre for the Arts / Aryan Books International (IGNCA Rock Art Series, 8), 23-44.
- Le Quellec, J.-L. (2016). Recent Work on Saharan rock art (2010-2014). In: *Rock Art Studies: News of the World V* (P. Bahn, N. Franklin, M. Strecker, E. Devlet, eds.). Archaeopress, Oxford, 55-74. <https://doi.org/10.2307/j.ctvrxq0fv>
- Le Quellec, J.-L. (2019). Central Saharan Rock Art. *Archaeology*, 5-1, 9 pp. <https://doi.org/10.37282/991819.19.61>
- Lenssen-Erz, T. (2007). Ennedi Highlands, Chad – artists and herders in a lifeworld on the margins. In: *Atlas of Cultural and Environmental Change in Arid Africa* (O. Bubenser, A. Bolten, F. Darius, eds). *Africa Praehistorica* 21, Cologne, 50-53.

- Lenssen-Erz, T. (2012). Pastoralist appropriation of landscape by means of rock art in Ennedi Highland, Chad. *Afrique Archéologie Arts*, 8, 27-43. <https://doi.org/10.4000/aaa.414>
- Lézine, A.-M., Hély, C., Grenier, C., Braconnot, P., Krinner, G. (2011a). Sahara and Sahel vulnerability to climate changes, lessons from Holocene hydrological data. *Quat. Sci. Rev.*, 30, 3001-3012. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.07.006>
- Lézine, A.-M., Zheng, W., Braconnot, P., Krinner, G. (2011b). Late Holocene plant and climate evolution at lake Yoa, Northern Chad: pollen data and climate simulations. *Clim. Past*, 7, 1351-1362. <https://doi.org/10.5194/cp-7-1351-2011>
- Maestrucci, F., Gianelli, G. (2023). Game Traps in the Central Sahara: Desert Kites and other Structures in the Ahnet Region (Algeria). *Les Cahiers de l'AARS*, 24, 147-162.
- Manning, K., Thimpson, A. (2014). The demographic response to Holocene climate change in the Sahara. *Quat. Sci. Rev.*, 101, 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.07.003>
- McGee, D., deMenocal, P.B., Winckler, G., Stuut, J.B.W., Bradtmiller, L.I. (2013). The magnitude, timing and abruptness of changes in North African dust deposition over the last 20,000 yr. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 371-372, 163-176. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.03.054>
- Mejía-Molina, A., Flores, J.A., Bárcena, M.A., Sierro, F.J., Grousset, F. (2006). Respuesta de los Cocolitofóridos a los cambios atmosféricos y oceanográficos durante el Periodo Húmedo Africano del Holoceno Atlántico. *Geogaceta*, 39, 99-102.
- Menardi Noguera, A. (2018). The emergence of an artistic canon at the Tamada discontinuity (Ennedi, Chad). Abstracts 20th International Rock Art Congress IFRAO 2018, Valcamonica, Italia, 151.
- Menardi Noguera (2023) The Monkey's Shelter in the Hiliba Gorges (Ennedi, Chad). *Les Cahiers de l'AARS*, 24, 164-172.
- Menviel, L., Govin, A., Avenas, A., Meissner, K.J., Grant, K.M., Tzedakis, P.C. (2021). Drivers of the evolution and amplitude of African Humid periods. *Communications Earth & Environment*, 2:237, 11 pp. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00309-1>
- Mercier, N., Le Quellec, J.-L., Malika, H., Safia, A., Michel, G. (2012). OSL dating of quaternary deposits associated with the parietal art of the Tassili-n-Ajjer plateau (Central Sahara). *Quat. Geochronol.*, 10, 367-373. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2011.11.010>
- Mercone, D., Thomson, J., Croudace, I.W., Siani, G., Paterne, M., Troelstra, S. (2000). Duration of S1, the most recent sapropel in the eastern Mediterranean Sea, as indicated by accelerator mass spectrometry radiocarbon and geochemical evidence. *Paleocenography*, 15-3., 336-347. <https://doi.org/10.1029/1999PA000397>
- Mire, S. (2015). Mapping the Archaeology of Somaliland: Religion, Art, script, Time, Urbanism, Trade and empire. *Afr. Archaeol. Rev.*, 32, 111-136. <https://doi.org/10.1007/s10437-015-9184-9>
- Monod, T. (1937). *Camelladas*. J.J. de Olañeta (ed.). El Barquero, Palma de Mallorca, 239 pp.
- Muhs, D.R., Meco, J., Budahn, J.R., Skipp, G.L., Betancort, J.F., Lomoschitz, A. (2019). The antiquity of the Sahara desert: New evidence from the mineralogy and geochemistry of Pliocene paleosols in the Canary Island, Spain. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 533, 109245. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109245>
- Mulitza, S., Prange, M., Stuut, J.-B., Zabel, M., von Dobeneck, T., Itambi, A.C., Nozou, J., Schulz, M., Wefer, G. (2008). Sahel megadroughts triggered by glacial slowdowns of Atlantic meridional overturning. *Paleoceanography*, 23, PA4206. <https://doi.org/10.1029/2008PA001637>
- Muzzolini, A. (1981). Le groupe europeoïde d'Iheren-Tahilaji, étage "bovidien final" des peintures du Tassili. *Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée*, 32, 121-138. <https://doi.org/10.3406/remmm.1981.1923>
- Osborne, A.H., Vance, D., Rohling, E.J., Barton, N., Rogerson, M., Fello, N. (2008). A humid corridor across the Sahara for the migration of early modern humans out of Africa 120,000 years ago. *PNAS*, 105-43, 16444-16447. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804472105>
- Paillou, P., Schuster, M., Tooth, S., Farr, T., Rosenqvist, A., Lopez, S., Malezieux, J.-M. (2009). Mapping of a major paleodrainage system in eastern Libya using orbital imaging radar: The Kufrah River. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 277, 327-333. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.10.029>
- Pausata, R.S.R., Gaetani, M., Messori, G., Berg, A., de Souza, D.M., Sage, R.F., deMenocal, P.B. (2020). The Greening of the Sahara: Past Changes and Future Implications. *One Earth*, 2, 235-250. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.03.002>

- Prell, W.L., Kutzbach, J.E. (1987). Monsoon Variability Over the Past 150,000 Years. *J. Geophys. Res.*, 92, 8411-8425. <https://doi.org/10.1029/JD092iD07p08411>
- Quade, J., Dente, E., Armon, M., Ben Dor, Y., Morin, E., Adam, O., Enzel, Y. (2018). Megalakes in the Sahara? A Review. *Quat. Res.* (2018), 1-23. <https://doi.org/10.1017/qua.2018.46>
- Riemer, H. (2004). Holocene game drivers in the Great Sand Sea of Egypt? Stone structures and their archaeological evidence. *Sahara*, 15, 31-42.
- Riemer, H. (2009). Prehistoric Rock Art research in the Western Desert of Egypt. *Archéo-Nil*, 19, 31-46. <https://doi.org/10.3406/arnil.2009.978>
- Riemer, H. (2013). Dating the rock art of Wadi Sura. In: *Africa Praehistorica* (R. Kuper, ed.). Institut für Ur-und Frühgeschichte der Universität zu Köln, Köln, 38-41.
- Riemer, H., Kröpelin, S., Zboray, A. (2017). Climate, styles and archaeology: an integral approach towards an absolute chronology of the rock art in the Libyan desert (Eastern Sahara). *Antiquity*, 91 355, 7-23. <https://doi.org/10.15184/aqy.2016.252>
- Rodríguez-Antón, A., Urrutia-Aparicio, M., Perera Betancor, M.A. (2023). Archaeoastronomy and Conflict: On the Orientation of Prehistoric Funerary Monuments in Western Sahara. *Sustainability*, 15, 22 pp. <https://doi.org/10.3390/su15032005>
- Schuster, M., Düringer, P., Ghienne, J.-F., Vignaud, P., Macaye, H.T., Likius, A., Brunet, M. (2006). The age of the Sahara Desert. *Science*, 311, 821. <https://doi.org/10.1126/science.1120161>
- Shine, T., Böhme, W., Nickel, H., Thies, D.F., Wilms, T. (2001). Rediscovery of relict populations of the Nile crocodile *Crocodylus niloticus* in south-eastern Mauritania, with observations on their natural history. *Oryx*, 35-3, 260-262. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3008.2001.00187.x>
- Skonieczny, C., Paillou, P., Bory, A., Bayon, G., Biscara, L., Crosta, X., Aynaud, F., Malaizé, B., Revel, M., Aleman, N., Barusseau, J.-P., Vernet, R., Lopez, S., Grousset, F. (2015). African humid periods triggered the reactivation of a large river system in Western Sahara. *Nat. Commun.*, 6:8751. <https://doi.org/10.1038/ncomms9751>
- Smith, P.E.L. (1968). Problems and Possibilities of the Prehistoric Rock Art of Northern Africa. *African Historical studies*, 1-1, 1-39. <https://doi.org/10.2307/216189>
- Soukopova, J. (2018). Decorated boulders and other neglected features of the Central Saharan rock. *J. Arid Environ.*, 156, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.05.001>
- Striedter, K. H., Tauveron, M. (2002-2003). The most ancient rock engravings in the central Sahara? *Afrique: Archéologie & Arts*, 2, 31-38. <https://doi.org/10.4000/aaa.4036>
- Swezey, C., Lancaster, N., Kocurek, G., Deynoux, M., Blum, M., Price, D., Pion, J.-C. (1999). Response of aeolian systems to Holocene climatic and hydrologic changes on the northern margin of the Sahara: a high-resolution record from the Chott Rharsa basin, Tunisia. *The Holocene*, 9, 141-148. <https://doi.org/10.1191/095968399670329816>
- Thomas, E.R., Wolff, E.W., Mulvaney, R., Steffensen, J.P., Sigfus, J.J., Arrowsmith, C., White, J.W.C., Vaughn, B., Popp, T. (2007). The 8.2 ka event from Greenland ice cores. *Quat. Sci. Rev.*, 26, 70-81. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.07.017>
- Tiedemann, R., Sarnthein, M., Stein, R. (1989). Climatic changes in the Western Sahara: aeolo-marine sediment record of the last 8 million years (sites 657-661). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 108, 241-277. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.108.169.1989>
- Tierney, J., deMenocal, P.B. (2013). Abrupt Shifts in Horn of Africa Hydroclimate Since the Last Glacial Maximum. *Science*, 342, 843-846. <https://doi.org/10.1126/science.1240411>
- Tierney, J., Pausata, F.S.R., deMenocal, P.B. (2017). Rainfall regimes of the Green Sahara. *Sci. Adv.*, 3, e161503. 9 pp. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601503>
- Tjallingii, R., Claussen, M., Stuut, J.-B.W., Fohlmeyer, J., Jahn, A., Bicket, T., Lamy, F., Röhl, U. (2008). Coherent high-and low-latitude control of the northwest African hydrological balance. *Nat. Geosci.*, 1, 670-675. <https://doi.org/10.1038/ngeo289>
- Vadsaria, T., Ramstein, G., Dutay J.-C., Li, L., Ayache, M., Richon, C. (2019). Simulation the Occurrence of the Last Sapropel Event (S1): Mediterranean Basin Ocean Dynamics Simulations Using ND Isotopic Composition Modelling. *Paleoceanogr. Paleoclimatol.*, 34, 237-251. <https://doi.org/10.1029/2019PA003566>
- Vignaud, P., Düringer, P., Mackaye, H.T., Likius, A., Blondel, C., Boisserie, J.-R., de Bonis, L., Eisenmann, V., Etienne, M.-E., Geraads, D., Guy, F., Lehmann, T., Lihoreau, F., López-Martínez, N., Mourer-Chauviré, C., Otero,

- O., Rage, J.-C., Schuster, M., Viriot, L., Zazzo, A., Brunet, M. (2002). Geology and palaeontology of the Upper Miocene Toros-Menalla homiid locality, Chad. *Nature*, 418, 152-155. <https://doi.org/10.1038/nature00880>
- Weldeab, S., Chaneider, R.R., Kölling, M., Wefer, G. (2005). Holocene African droughts related to eastern equatorial Atlantic cooling. *Geol. Soc. Am.*, 33, 981-984. <https://doi.org/10.1130/G21874.1>
- Weldeab, S., Frank, M., Stichel, T., Haley, B., Sangen, M. (2007). Spatio-temporal evolution of the West African monsoons during the last deglaciation. *Geophys. Res. Lett.*, 38, 5 pp. L13703. <https://doi.org/10.1029/2011GL047805>
- Wright, D.K. (2017). Humans as Agents in the Termination of the African Humid Period. *Frontiers in Earth Sciences.*, 5, 14 pp. <https://doi.org/10.3389/feart.2017.00004>
- Zaki, A.S., King, G.E., Haghipour, N., Giegengack, R., Watkins, S.E., Gupta, S., Schuster, M., Khairy, H., Ahmed, S., El-Wakil, M., Eltayeb, S.A., Herman, F., Castelltort, S. (2021). Did increased flooding during the African Humid Period force migration of modern humans from the Nile Valley? *Quat. Sci. Rev.*, 272, 11 pp. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107200>
- Zboray, A. (2012). A Revision of the Identified Prehistoric Rock Art Styles of the Central Libyan desert (Eastern Sahara) and their Relative Chronology. In: *The signs of which times? Chronological and Palaeoenvironmental Issues in the Rock Art of Northern Africa* (D. Huyge, F. Van Noten, D. Swinne, eds). Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen, Brussel, 217-255.
- Zboray, A. (2021). The Petroglyphs of Jebel Uweinat. Many Questions and a few Answers... In: *Desert and the Nile. Prehistory of the Nile Basin and the Sahara* (J. Kabaciński, M. Chłodnicki, M. Kobusiewicz, M. Winiarska-Kabacińska. eds.) Papers in honour of Fred Wendorf, Heidelberg: Propylaeum, 2021, Studies in African Archaeology, 15, 707-733. <https://doi.org/10.11588/propylaeum.830.c10661>
- Zboray, A. (2023). An exceptionally large “keyhole monument” in the Oued Tasset and its implications on the stratification of Iheren society. *Les Cahiers de l’AARS*, 24, 209-214.
- Zboray, A., Rossi, P.P. (2020). The paintings of Soro Kezenanga and Tarchia (Ennedi, Chad). *Les Cahiers de l’AARS*, 21, 285-299.
- Zerboni, A., Biagetti, S., Lancelotti, C., Madella, M. (2016). The end of the Holocene Humid Period in the central Sahara and Thar deserts: social collapses or new opportunities? *Science Highlights: Climate Change and Cultural Evolution*, 24, 60-61. <https://doi.org/10.22498/pages.24.2.60>
- Zerboni, A., Nicoll, K. (2019). Enhanced zoogeomorphological processes in North Africa in the human-impacted landscapes of the Anthropocene. *Geomorphology*, 331, 22-35. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.10.011>
- Zerboni, A., Villa, F., Wu, Y.-L., Solomon, T., Trentini, A., Rizzi, A., Cappitelli, F., Gallinaro, M. (2022). The Sustainability of Rock Art: Preservation and research. *Sustainability*, 14, 6305. <https://doi.org/10.3390/su14106305>
- Zhang, Z., Ramstein, G., Schuster, M., Li, C., Contoux, C., Yan, Q. (2014). Aridification of the Sahara desert caused by Tethys sea shrinkage during the Late Miocene. *Nature*, 513, 401-404. www.nature.com/doi/10.1038/nature13705. <https://doi.org/10.1038/nature13705>
- Ziegler, M., Tüenter, E., Lourens, L.J. (2010). The precession phase of the boreal summer monsoon as viewed from the eastern Mediterranean (ODP Site 968). *Quat. Sci. Rev.*, 29, 1481-1490. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.03.011>

Recibido el 20 de octubre de 2025

Aceptado el 27 de marzo de 2026

