

94

EL "DIABLO ROJO" DE AMATITLÁN: APLICACIÓN DE UNA TÉCNICA NO DESTRUCTIVA DE CRONOLOGÍA POR RADIOCARBONO

*Marvin Rowe
Karen Steelman*

Recientemente se obtuvo una fecha de radiocarbono de 3030 ± 45 ^{14}C AP, de la pictografía roja conocida como Diablo Rojo, por medio de la utilización de extracción con plasma químico y espectrometría de aceleración de masas. Esta es la primera pictografía de las Tierras Altas que ha sido fechada directamente. En la actualidad, el Departamento de Química de la Universidad de Texas A&M está explorando otras aplicaciones de la química de plasma para la arqueología y la cronología de radiocarbono.

Aquí se describe una técnica no destructiva para obtener fechas de radiocarbono en artefactos orgánicos perecederos. La oxidación con plasma es una alternativa muy atractiva para establecer la cronología de artefactos arqueológicos raros y preciosos, debido a que es un método no destructivo. Sin embargo, este método es ideal para muestras que poseen un alto contenido de oxalato de calcio. No se observa ningún cambio visible o alteración - aún en los materiales más frágiles - después de que estos han sido expuestos al plasma. Los resultados de la aplicación de la técnica de radiocarbono en artefactos previamente fechados y de algunos estándares, así como varios materiales de un evento particular inferido (un entierro naturalmente momificado de un infante, procedente de la cueva Hind en Texas), se emplearon para establecer la exactitud y precisión del método. Además, se emplearon diferentes pre-tratamientos, incluidos: 1) ningún tratamiento; 2) lavado con agua; 3) lavado con base, y 4) una secuencia de lavados ácido-base-ácido. En general, se determinó concordancia. Los resultados prometen demostrar que la oxidación con plasma podrá ser empleada para producir fechas de radiocarbono no destructivas, así como también hará posible establecer la cronología directa de ejemplares de pintura rupestre.

La cronología de radiocarbono que utiliza la espectrometría de aceleración de masas requiere de la remoción física de muestras del tamaño de un miligramo de los artefactos arqueológicos; esta muestra, a su vez, se destruye durante la combustión que permite la obtención de carbono puro. En contraste, al emplear plasma de oxígeno a baja temperatura - el cual, por lo general se encuentra alrededor de 50°C - solamente se necesitan cantidades en sub-miligramos de carbono orgánico, obtenidas de la superficie de los artefactos arqueológicos, estén estos intactos o fragmentados (Steelman y Rowe 2002c, 2003). El artefacto o la muestra arqueológica se pueden someter a oxidaciones sucesivas múltiples veces y, de igual manera, se obtendrán tantas fechas de radiocarbono como oxidaciones hubo. La inspección visual demuestra que no se dan alteraciones considerables después de la exposición al plasma, incluso en los materiales más frágiles. Por tanto, la naturaleza no destructiva de la extracción química con plasma posee un alto potencial para fechar materiales sensibles y frágiles, cuya edad no puede ser determinada de otra manera.

Por tanto, en este momento vale hacerse tres preguntas importantes con respecto a la nueva técnica: 1) ¿Es totalmente no destructiva?, 2) ¿Las fechas de radiocarbono obtenidas con el proceso de plasma concuerdan con las que se han determinado por otros laboratorios?, 3) ¿Es el fraccionamiento de masas insignificante durante la reacción por plasma? A partir del trabajo desarrollado por la Universidad de Texas A&M, la respuesta parece ser que sí en cada caso, pero antes de responderlas de manera específica debe explicarse la forma en que se lleva a cabo la técnica y que, por supuesto, la diferencia de las demás.

SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE MUESTRAS A TRAVÉS DE EXTRACCIÓN CON PLASMA QUÍMICO

El plasma se produce por acoplamiento de un condensador con dos electrodos de cobre externos que se colocan a ambos extremos de una cámara de vidrio que actualmente mide 33 x 9.6 cm, aunque se pueden construir cámaras de diferentes tamaños dependiendo de la muestra que deba ser analizada. Un generador de radiofrecuencia acelera las partículas del interior de la cámara, produciendo plasma. La temperatura del gas plasma se mantiene entre 45° C y 150° C, dependiendo de su poder. Los plasmas de oxígeno reaccionan con el material carbónico en las muestras arqueológicas expuestas - sean estas artefactos o pintura rupestre - y extraen el carbono orgánico en forma de anhídrido carbónico (CO₂), también llamado dióxido de carbono. Las muestras de arte rupestre se corren a una fuerza de radiofrecuencia de 100 vatios y a una temperatura menor de 150° C; en cambio, los artefactos que son orgánicos (piel, hueso, tejidos, fibras, restos botánicos, etc), requieren solamente de 10 vatios de radiofrecuencia y una temperatura de 46° C. De 5 a 10 minutos es el tiempo de reacción que se necesita para la extracción no destructiva del anhídrido carbónico (CO₂), a partir de la superficie de artefactos orgánicos. Ya extraído el dióxido de carbono, se recolecta en un tubo de vidrio, que a su vez se enfría con nitrógeno líquido. Este tubo se sella y se envía a un laboratorio de aceleración de masas (AMS). Allí el dióxido de carbono es transformado en grafito, para que su edad de radiocarbono pueda ser medida a través de aceleración de masas.

CARACTERÍSTICAS DE LA TÉCNICA DE EXTRACCIÓN CON PLASMA QUÍMICO

Con respecto a la técnica, aún quedan algunos factores que deben ser revisados. Uno de ellos es el método de pre-tratamiento de la muestra, como etapa previa al análisis de radiocarbono. Actualmente, los laboratorios que hacen cronología de radiocarbono llevan a cabo un pre-tratamiento en el que se emplea ácido, luego álcali y finalmente ácido otra vez. Los lavados con ácido tienen por objetivo eliminar la contaminación de carbonatos y oxalatos, que a menudo están presentes en los artefactos arqueológicos; los lavados con base se usan para remover los ácidos húmicos, es decir la contaminación por suelos. Ambas contaminaciones deben ser removidas para producir una fecha de radiocarbono exacta. Luego - según la técnica que no emplea plasma - la muestra se somete a combustión para extraer el carbono necesario para la cronología. Debido a que el tratamiento con ácido y base sí puede afectar o incluso destruir la muestra, se requiere de una nueva forma de limpieza química, de tal manera que se pueda lograr una cronología de radiocarbono totalmente no destructiva. Actualmente, el Departamento de Química de la Universidad de Texas A&M ha desarrollado un método no destructivo que sustituye los protocolos ácido-álcali-ácido. Este es una extracción con plasma químico, el cual toma además el lugar de la combustión en el análisis de radiocarbono. Una de las grandes ventajas del plasma químico es que no hay necesidad de eliminar los oxalatos y carbonatos, ya que los minerales están presentes en estado oxidado y, además, porque el plasma se usa a baja temperatura, es decir, a menos de 50° C.

Cuando se determinó la edad en la muestra del textil copto que corresponde al cuarto patrón de radiocarbono de comparación internacional, se corrieron tres reacciones consecutivas con plasma de oxígeno. Después de que el textil estuvo expuesto al plasma suficiente tiempo para establecer 15 fechas con AMS, no se observó ningún cambio en el tejido, lo cual indica la naturaleza no destructiva del método.

La segunda prueba se llevó a cabo en una muestra de la madera del tercer patrón de radiocarbono de comparación internacional. Esta tampoco presentó algún deterioro, después de que se recolectaron 0.80 mg de carbono, los cuales fueron suficientes para determinar ocho fechas de radiocarbono.

Se ha propuesto, que pueden usarse una o dos limpiezas iniciales con plasma (las cuales deben ser descartadas), que permitirán la eliminación de la contaminación de superficie. Luego, las subsecuentes exposiciones al plasma permitirán la cronología de radiocarbono del núcleo de la muestra. Si se fecha el carbono de todas las extracciones sucesivas con plasma, entonces podrán proyectarse las edades obtenidas como una función de la reacción con plasma, de tal manera que pueda obtenerse la máxima aproximación a la edad “verdadera” de un artefacto. Hasta el momento todavía no se ha demostrado este efecto, pero los primeros datos que se tienen, como se explica más adelante, son alentadores.

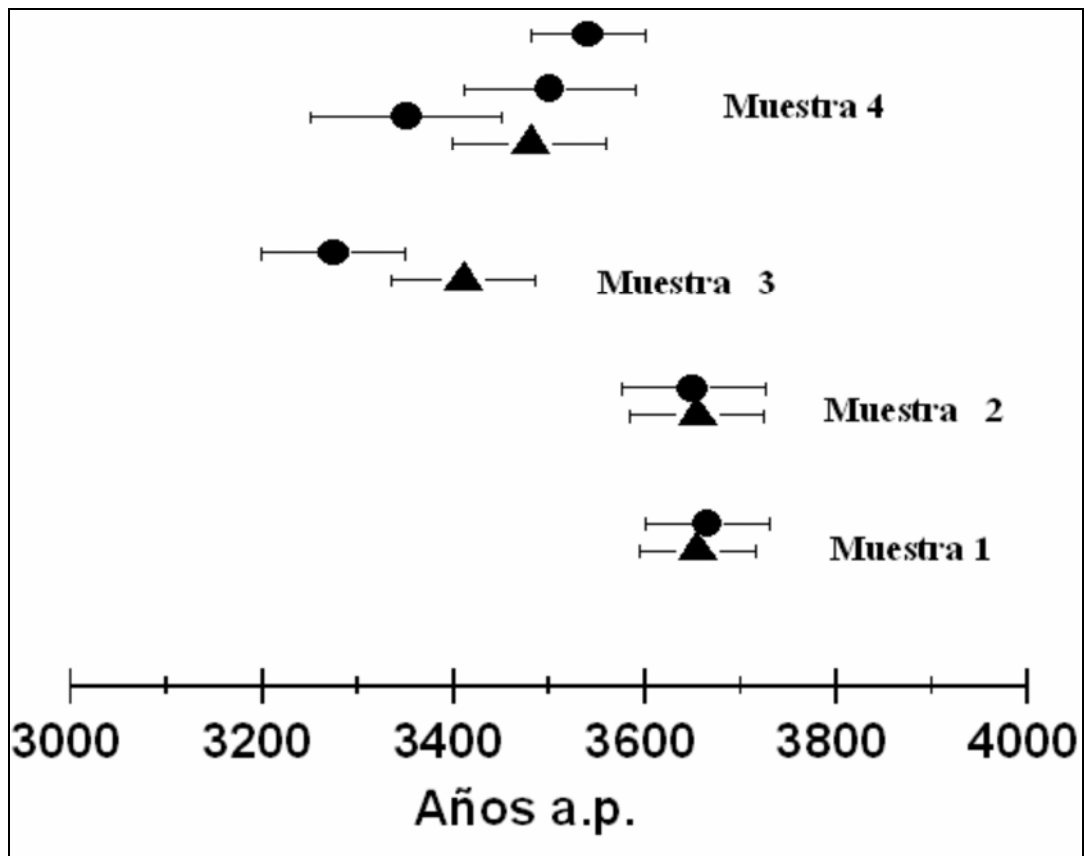
EXACTITUD DE LA TÉCNICA

En torno a este tipo de análisis, una de las primeras dudas obligadas es saber cómo se llegó a evaluar la técnica, es decir, a probar su exactitud. Para ello el Departamento de Química de la Universidad de Texas A&M determinó la fecha de radiocarbono de muestras que previamente habían sido fechadas por otro método y/o métodos, y, por supuesto, también se usaron los patrones de radiocarbono existentes. Entre los recursos utilizados para este propósito están (Armitage 1998):

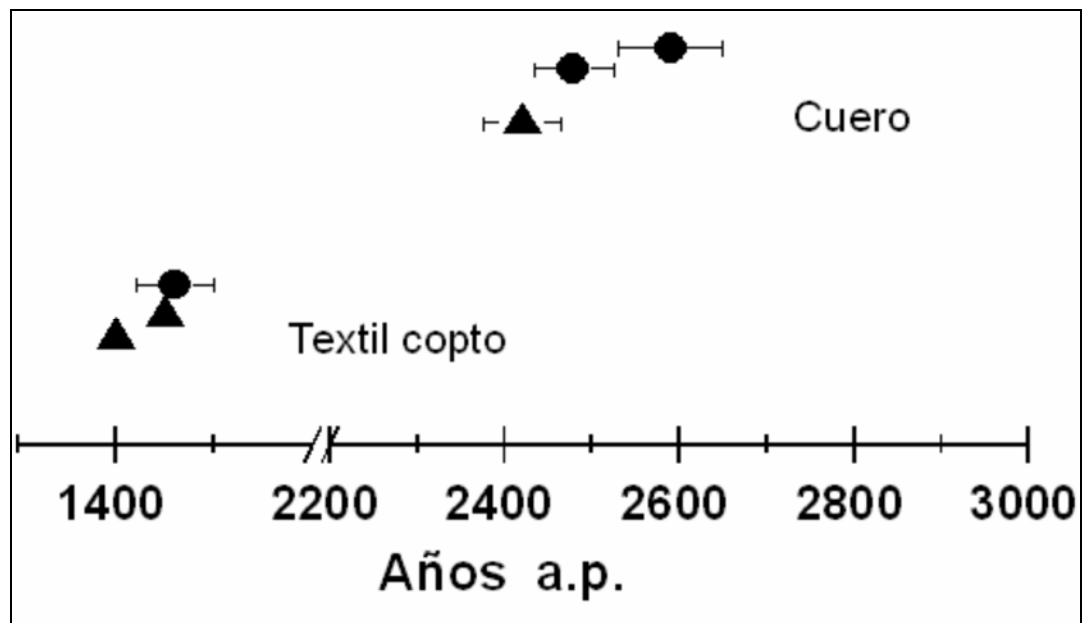
1. La madera del tercer patrón de radiocarbono de comparación internacional o TIRI por sus siglas en inglés.
2. Una muestra de carbón previamente fechado.
3. El textil copto del cuarto patrón de radiocarbono de comparación internacional o FIRI por sus siglas en inglés, que además se encuentra restaurado con un parche y con cuero, que también se fecharon.

Los resultados de estas mediciones se sintetizan en las gráficas 1, 2 y 3. En dichas gráficas, los símbolos triangulares representan las fechas de radiocarbono aceptadas para artefactos que han sido fechados por otros laboratorios. Los círculos representan las edades de radiocarbono determinadas empleando el proceso de oxidación no destructivo con plasma, desarrollado por el laboratorio de la Universidad de Texas A&M.

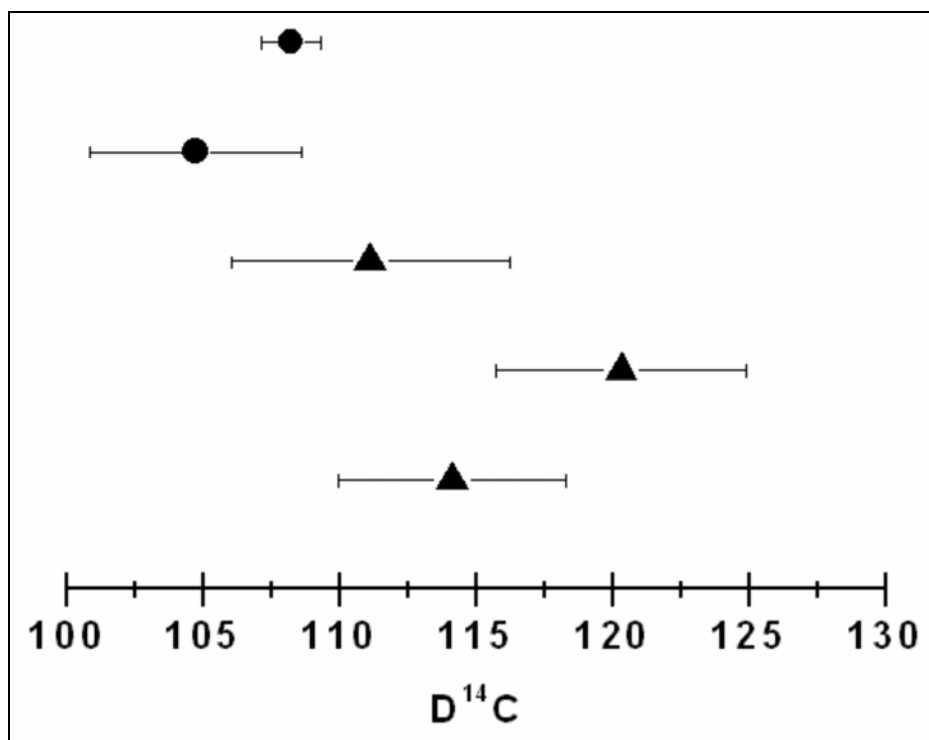
Para explicar algunas de las variaciones se hará referencia a las fechas del tercer patrón de radiocarbono de comparación internacional. La edad estandarizada del mismo es de 4503 ± 6 años de radiocarbono AP (Gulliksen y Scott 1995). Una muestra de madera TIRI fue tomada de la superficie exterior después de que la misma fuera almacenada en una bolsa plástica durante varios años. La fecha obtenida a través del método de plasma en esta muestra fue de 4730 ± 6 años AP, lo que indicaría que es 200 años más antigua de lo que se esperaba. Ilger y colaboradores (1995), atribuyeron esta diferencia a la absorción del material plastificante de la bolsa (Cuadro 1). La extracción con plasma químico es una técnica de superficie que incluso puede remover carbono de una muestra de un tamaño de 100 nanómetros o menos, de tal manera que fue factible la inclusión de material plastificante, afectando así las determinaciones de radiocarbono. Posteriormente, se fecharon otras muestras de madera del tercer patrón, asegurándose esta vez que sólo se hiciera un muestreo al interior. Los resultados de la cronología obtenidos por el laboratorio AMS aún están siendo analizados, por lo que en su momento se podrá conocer el efecto del material plastificante.



Gráfica 1



Gráfica 2



Gráfica 3

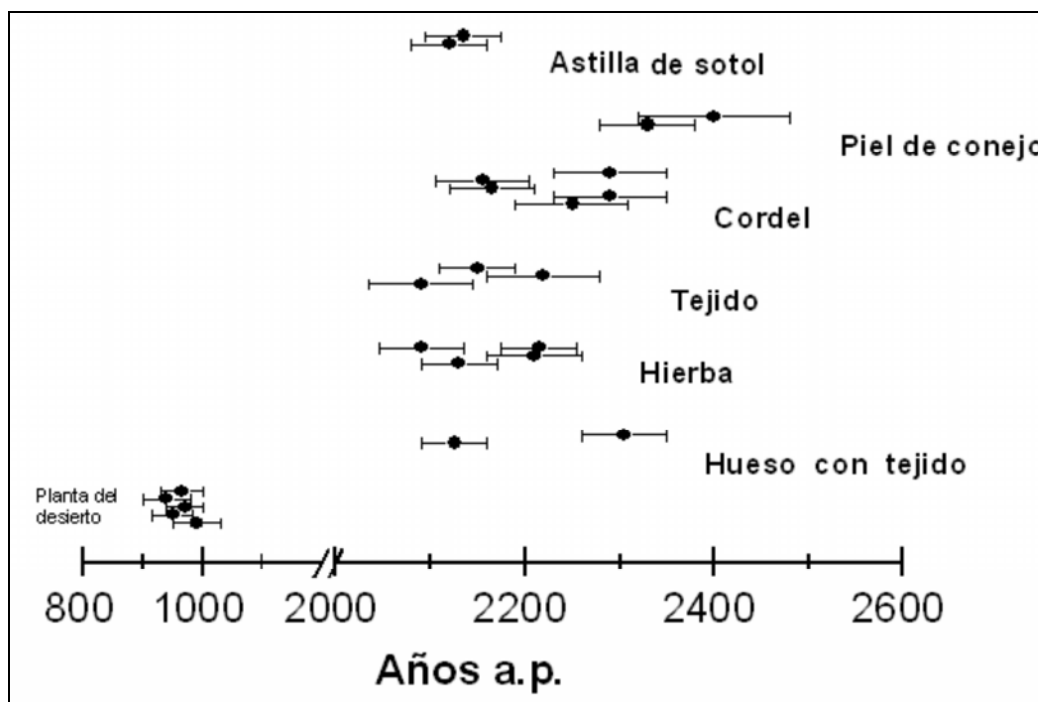
CAMS #	^{13}C	Years BP
94527	-29.2	4540 $\pm$ 60
94529	-30.6	4530 $\pm$ 35
11432	-25	4530 $\pm$ 60
24683	-25	4530 $\pm$ 70
10554	-25	4730 $\pm$ 60

Cuadro 1 Fechamientos obtenidos por diferentes laboratorios del patrón TIRI. Se observa concordancia entre casi todos los fechamientos obtenidos, con excepción de la última, que corresponde a la muestra que absorbió el plástico en el que fue almacenado.

Al margen de los datos obtenidos a partir de los patrones de radiocarbono internacionales, se seleccionaron muestras asociadas a un evento temporal particular. Se fecharon siete diferentes materiales procedentes del entierro de un infante naturalmente momificado que pertenece al Laboratorio de Investigación Arqueológica de Texas de la Universidad de Texas, y que procede de la cueva Hinds, ubicada en la parte baja del río Pecos, al suroeste de Texas. Los materiales seleccionados para ser fechados en este entierro fueron: 1) una pequeña muestra de una estera; 2) una hoja de pasto; 3) la astilla de madera de una planta del desierto; 4) un trozo de pelo de conejo; 5) una pieza de tallo de *soto*; 6) una muestra de cordel; y 7) un pequeño hueso que tenía adherida piel momificada.

El objetivo de este ejercicio de cronología era probar la técnica en varios materiales diferentes, todos los cuales se esperaba que tuvieran la misma edad, es decir, la del entierro. Las muestras fueron sujetas a diferentes pre-tratamientos, de tal manera que también se pudiera llevar a cabo una comparación entre los mismos. Uno de los pre-tratamientos fue el tradicional, es decir, el de ácido-álcali-ácido, el que lamentablemente fue destructivo. Debido a que la técnica de plasma ha demostrado repetidamente que no requiere de pre-tratamiento con ácido para ser exacta, también se trataron algunas de las muestras solamente con hidróxido de sodio a varias concentraciones, seguido de enjuagues con agua. Otras de las muestras fueron tratadas solamente con agua doble destilada, agua deionizada o simplemente no se les dio ningún tratamiento. En total, se obtuvieron 23 fechas de las

muestras de la cueva de Hinds. Las fechas de seis de los materiales fueron consistentes unas con otras. La madera de la planta del desierto, sin embargo, presentó una fecha más reciente que la que se obtuvo para los otros seis materiales del entierro. Cinco fechas de esta madera fueron consistentes entre ellas mismas (Gráfica 4), de tal manera que se pudo concluir que la astilla no era parte del envoltorio original del entierro. Casi todas las fechas que se obtuvieron en los materiales de la cueva Hinds demuestran concordancia entre las mismas, lo que es suficiente para probar la exactitud de la técnica. Actualmente, el Centro de Espectrometría de Aceleración de Masas del Laboratorio Nacional Lawrence Livermore (Estados Unidos), está llevando a cabo las mediciones de radiocarbono por el método tradicional en todos estos materiales, de tal manera que se puedan establecer las comparaciones respectivas.



Gráfica 4

En general, los resultados empleando oxidación no destructiva con plasma, concuerdan con las evaluaciones cronológicas determinadas en muestras previamente fechadas por otros laboratorios.

El análisis estadístico (OxCal χ^2 -test: Bronk Ramsey 2000), indica, en general, que los resultados con extracción de plasma químico y los de otros laboratorios concuerdan dentro de cierta incertidumbre estadística, incluso cuando se emplean varios pre-tratamientos diferentes. La técnica de plasma químico parece producir fechas de radiocarbono precisas.

FRACCIONAMIENTO DESPRECIABLE DE LAS MASAS

La técnica tradicional de radiocarbono utiliza el isótopo de carbono 14 (^{14}C), para determinar la edad del artefacto. Debido a que el plasma produce fraccionamiento del anhídrido carbónico en varios de sus isótopos, uno de los objetivos de las pruebas que se han hecho a esta técnica es determinar si varían las fechas obtenidas si se emplean diferentes isótopos. Por esta razón, las alícuotas de CO_2 producidas durante las reacciones secuenciales con plasma, se analizaron para los diferentes rangos de isótopos estables del carbono (Boutton 1991). En el caso del carbono 14 (^{14}C), la edad sí se vio afectada entre ambas metodologías, pero en el caso de las mediciones de carbono 13 ($\delta^{13}\text{C}$), la variación en la cronología de radiocarbono es despreciable.

Por otra parte, debe recordarse que al usar la técnica del plasma se pueden hacer múltiples extracciones de anhídrido carbónico de la superficie de los artefactos y esta fue otra prueba a la que se sometió la técnica. Es decir, se determinó si existía variación mientras más extracciones se realizaran. En realidad, la técnica demostró que las extracciones secuenciales producen una variación de $\pm 1-2\%$, afectando solamente la cronología de radiocarbono en $\pm 8-16$ años de radiocarbono AP.

CRONOLOGÍA DE RADIOCARBONO DE PINTURAS RUPESTRES

La espectrometría de aceleración de masas (AMS), fue introducida en la parte final de la década de los ochenta. Su aplicación permitió que se redujera en un alto porcentaje la cantidad de carbono necesario para llevar a cabo las mediciones de radiocarbono. Por tanto, por primera vez, se pudieron determinar fechas de muestras muy pequeñas, como pueden ser las que proceden de la pintura rupestre.

La mayor parte de las fechas de radiocarbono que se han conseguido de las pinturas rupestres de todo el mundo, se ha logrado únicamente por los pigmentos que tienen base de carbón. Sin embargo, esto no era una ventaja, sino desventaja, porque casi todas las pictografías fueron hechas con pigmentos inorgánicos y no con carbón. Por ejemplo, se usaron pigmentos rojos, naranjas, cafés y amarillos, que en realidad son varios óxidos o hidróxidos minerales en diferentes estados de oxidación y grados de hidratación, y también se empleó pigmento negro, que puede ser óxido o hidróxido de manganeso. Ciertamente, ningún material inorgánico puede ser fechado directamente por radiocarbono, pero paradójicamente, las pictografías con pigmentos inorgánicos sí pueden ser fechadas por radiocarbono si cumplen con las siguientes condiciones: en primer lugar, si se agregó algún material orgánico a los pigmentos antes de que estos fueran transformados en pinturas, y en segundo lugar, si permitió suficiente cantidad de este material orgánico en las pinturas rupestres, de tal manera que pudieran practicarse mediciones de radiocarbono con suficiente exactitud y confiabilidad.

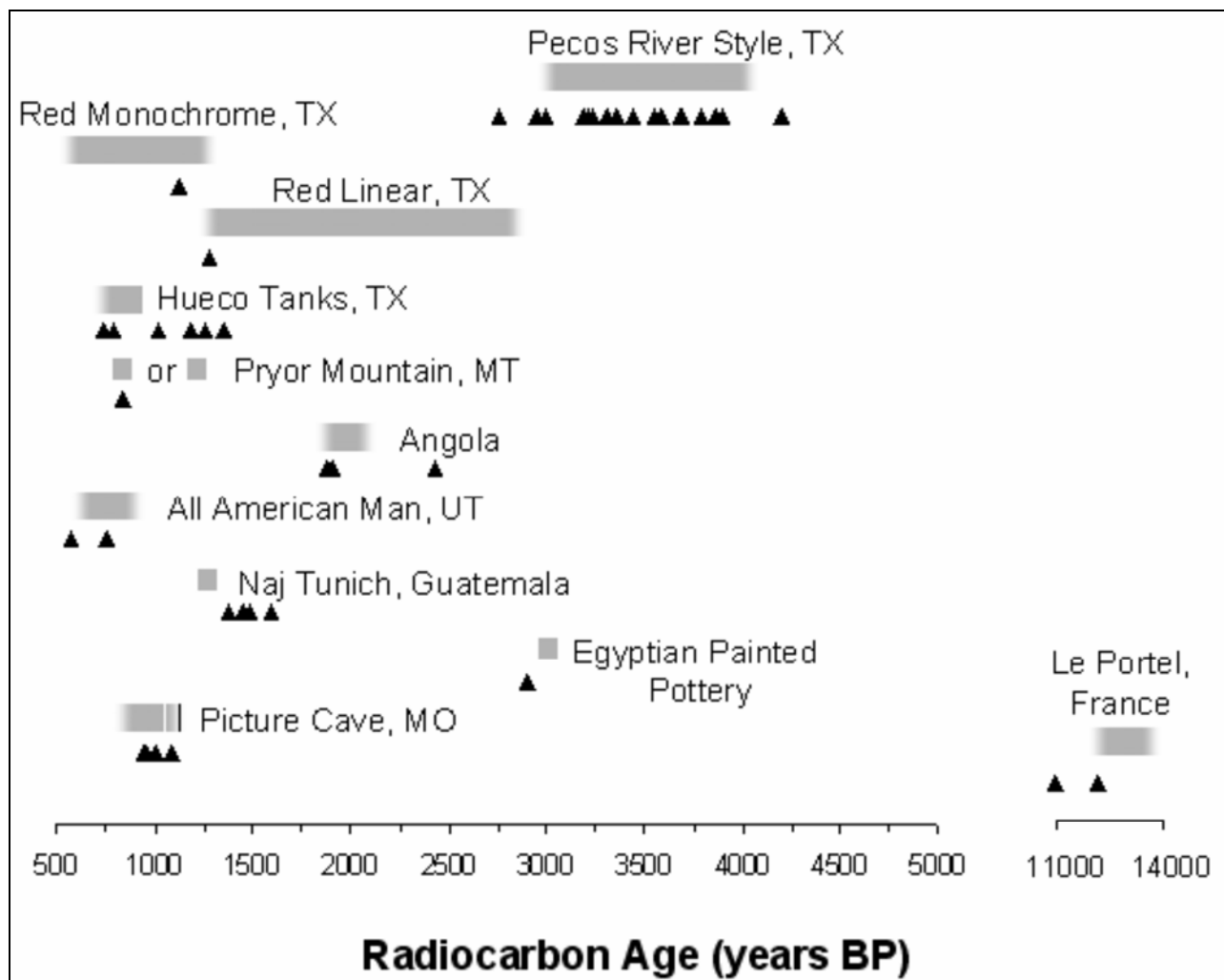
Durante más de una década, el Departamento de Química de la Universidad de Texas A&M ha desarrollado y empleado una técnica de extracción con plasma químico, que es aplicable a todos aquellos materiales arqueológicos en los cuales se ha retenido alguna traza de material orgánico. Esto permite que las pictografías rupestres puedan ser fechadas por radiocarbono AMS, tanto si fueron hechas con pigmentos de base de carbón como si posee sustancias orgánicas mezcladas con los pigmentos inorgánicos (Russ *et al.* 1990, 1992; Chaffee *et al.* 1993, 1994; Ilger *et al.* 1995, 1996; Hyman y Rowe 1997; Pace *et al.* 2000; Steelman *et al.* 2002a,b; Rowe 2001).

De acuerdo con los datos que se presentan en la Gráfica 5, se ha demostrado que la técnica proporciona buenas estimaciones de antigüedad para la pintura rupestre, ya que éstas se ubican dentro del rango cronológico inferido a través de la evidencia arqueológica. Las barras sombreadas representan los rangos propuestos por los investigadores de las pictografías y los triángulos son las fechas de radiocarbono en las que se usó plasma químico como medio de extracción. Se observa concordancia para varios grupos de pinturas rupestres, lo cual presta confiabilidad al método, aunque los rangos cronológicos inferidos arqueológicamente a menudo son tan amplios que no pueden aceptarse como concluyentes en todos los casos.

FECHAMIENTO DEL “DIABLO ROJO”, AMATITLÁN, GUATEMALA

En septiembre de 2001, Marvin Rowe viajó a Guatemala para tomar muestras de 10 pinturas rupestres. Nueve de ellas corresponden a los sitios de San Juan Ermita, Chiquimula, pero aún se encuentran pendientes de ser procesadas. Sin embargo, sí se fechó la que se conoce como “Diablo Rojo” y que está ubicada en Amatitlán. Esta es la primera pictografía de las Tierras Altas de Guatemala que ha sido fechada directamente. De acuerdo con la información proporcionada por Sergio Ericastilla, David Whitley y Guillermo Mata, esta pintura fue encontrada por campesinos de los alrededores, quienes la dieron a conocer en la década de los setenta a Margarita Hartleben. Hacia finales de aquella década, la familia Hartleben comunicó el hallazgo a Edwin Shook, quien hizo los arreglos necesarios para llevar a cabo el registro de esta representación rupestre. En 1977, llegaron a Guatemala David Whitley y

Frederick Bove, quienes bajo la dirección de William Clewlow debían trabajar en el registro del “Diablo Rojo”, junto a Edwin Shook. Se montó un andamio para hacer el calco, el cual fue trazado por Shook, mientras que las primeras fotografías fueron tomadas por Whitley, quien bajó hasta la pintura parado en una tabla y sostenido por una soga en la cintura. Se supone que Clewlow escribiría un amplio reporte sobre la pintura, pero nunca lo completó, sin embargo, se hizo una breve descripción del mismo en el artículo *El Bálsamo, un Complejo Preclásico Medio en la Costa Sur de Guatemala*, de Clewlow y Helen Wells. A partir del calco y fotos tomadas por este primer equipo, Clewlow encargó una reproducción artística a Kathleen Conti, cuyo paradero se desconoce en la actualidad, pero que se publicó en 1986 como portada del libro *La Periferia Sureste del Clásico Maya*, del Centro Latinoamericano de la Universidad de California. Sin embargo, la primera publicación detallada del “Diablo Rojo” se debe a Matthias Strecker y data de varios años más tarde (David Whitley, comunicación personal; Mata 1998:27-28).



Gráfica 5

Después del trabajo de Shook, Whitley y Bove, Guillermo Mata hizo una visita que da fe de la excelente conservación de la pintura. En enero de 1985, Sergio Ericastilla y Gary Rex Walters visitaron el sitio y con la ayuda de un andamio lograron realizar un nuevo calco y tomar fotografías. Al primero se debe la mejor descripción de la pintura que se conoce en la actualidad (Ericastilla 1998). En 1997 Mata visita nuevamente el sitio, notando el grado de deterioro que presenta la pintura con respecto a su vista en los años setenta (Ericastilla 1998:29; Mata 1998:28-29). La pintura se encuentra ubicada en la parte

superior de un risco de basalto del cerro de La Mariposa, a aproximadamente unos 12 m desde la base del paredón. Mide 1.25 m de ancho y 1.88 m de alto. Según el calco y la descripción de Ericastilla, la pictografía cuenta con dos personajes que están de pie y de perfil, uno frente a otro. El de mayor tamaño, que es que ha dado nombre a la pintura porque lleva un tocado adornado con dos aparentes cuernos, ve hacia la derecha y ocupa el lugar predominante, también está ataviado con guantes, una borla a la altura de la cintura, posiblemente una bolsa y lleva una falda; su brazo derecho está hacia un lado y en la mano sostiene los que han sido descritos como lanza dardos, así como un objeto semejante a un caracol. En la otra mano sostiene un objeto desconocido y el brazo está flexionado a la altura de la cara. El personaje que ve hacia el lado izquierdo, de menor tamaño, está parado en forma estática con los brazos a ambos lados de su cuerpo; es especialmente importante el “casco” que lleva puesto, el cual es semejante a de los atavíos de las representaciones Olmecas de la región del Golfo (Ericastilla, 1998:29-30). Esta asociación iconográfica de la pintura, es la que ha permitido su estimación temporal.

Para hacer el muestreo de esta pintura, fue necesario hacer uso de una escalera muy alta, que fue proporcionada por la XIX Compañía de los Bomberos Voluntarios de Amatlán. Bajo la dirección de Marvin Rowe, Carlos Batres removió dos ínfimas lascas de pintura rupestre, empleando un escarpelo quirúrgico esterilizado. La muestra del “Diablo Rojo” fue empacada en papel de aluminio y una bolsa de plástico que podía sellarse nuevamente. Además, se recolectó una muestra de la roca en la que no había pigmento y que se encontraba inmediatamente adyacente a la pintura, la que permitió determinar la cantidad de contaminación presente en el sustrato, para hacer las correcciones necesarias.

En el laboratorio de la Universidad de Texas A&M se examinó la muestra con un microscopio estereoscópico, determinándose que el “Diablo Rojo” es en realidad una pintura que se compone de dos capas: una de color negro que se localizaba debajo de la roja superficial, que es la que se observa a simple vista en el paredón. Nuevamente con la ayuda de un escarpelo quirúrgico, se procedió a hacer la separación de las mismas; primero, la capa roja de la superficie y luego la capa negra adyacente al sustrato, aunque fue imposible remover una capa sin incluir minúsculas cantidades de la otra. Esto equivale a decir que al pulverizarse la muestra para su análisis y al ser observados los polvos bajo un microscopio estereoscópico, se determinó que había algunas partículas negras en el polvo rojo y viceversa. Cabe decir que no se encontró ningún otro material extraño, tales como fibras, raicillas, etc. El polvo rojo y el polvo negro se mantuvieron separados y se trataron como dos muestras individuales. La muestra de roca sin pintura también se examinó bajo el microscopio para descartar la posible presencia de pigmentos. Para evitar la contaminación moderna, se emplearon guantes de látex para recolectar la muestra y, asimismo, durante su manejo posterior en el laboratorio.

El plasma químico sirvió para extraer el carbono orgánico, tanto de la capa roja como de la negra. El carbono extraído sirvió para llevar a cabo la cronología por radiocarbono con AMS. Infortunadamente, la cantidad no fue suficiente en la capa roja, ya que solamente se obtuvieron alrededor de 0.025 mg de carbono. Por otro lado, en la capa negra la situación fue totalmente favorable, ya que se recolectaron unos 0.105 mg de carbono, los cuales sí fueron útiles para la cronología. El tono negro de la muestra de pintura desapareció después de la oxidación; este cambio de tonalidad y la relativamente alta cantidad de carbono recolectado, indican que el pigmento era carbón. De la muestra del sustrato se recolectaron solamente ~0.004 mg de carbono. La medición de radiocarbono de la capa negra permitió obtener una fecha de 3030 ± 45 ^{14}C años AP., calibrada a 1120-1410 años AC.

CONCLUSIONES

Aunque todavía falta hacer más comparaciones, las mediciones de radiocarbono no destructivas y de isótopos de carbono estables parecen ser factibles para restos arqueológicos que contengan carbono en su composición, sean estos orgánicos o inorgánicos. Hay cinco ventajas de usar plasma químico en lugar de la combustión para la recolección de dióxido de carbono (CO_2), para la cronología de radiocarbono. Estas son (Hedges *et al.* 1998; Armitage *et al.* 2001):

1. La extracción con plasma químico, indudablemente permite un análisis no destructivo.
2. Los pre-tratamientos con ácido, que se solían emplear para descontaminar la muestra de carbonatos y eliminar el CO₂ absorbido, son innecesarios con la extracción de plasma, ya que no se ha encontrado ningún efecto contrario a partir de esta omisión.
3. El ambiente de plasma necesario para llevar a cabo la reacción es muy bajo, ya que se necesitan solamente unos 0.9 nanogramos de carbono moderno, a una frecuencia de radio de 100 vatios, y posiblemente menos de los 0.9 nanogramos cuando se usen 10 vatios.
4. El análisis con la extracción con plasma no se ve afectado por la presencia de oxalatos que sí afectan adversamente las fechas obtenidas por combustión.
5. El fraccionamiento de masas parece ser mínimo, contribuyendo con una deflexión no mayor de $\pm$ 8-16 años, en la edad de radiocarbono. Además, el fraccionamiento de masas puede ser corregido por medición de $\delta^{13}\text{C}$, en la misma alícuota de CO₂ utilizada para el análisis de radiocarbono con AMS.

Con respecto a la cronología de la pintura rupestre conocida como “Diablo Rojo”, es válido decir que la asociación estilística que se había otorgado a la misma, definitivamente corresponde a la edad obtenida a través de la oxidación plasma químico y del análisis de radiocarbono.

Por otra parte, como dato histórico cabe decir que el “Diablo Rojo” fue una de las primeras pinturas rupestres en ser registradas por los arqueólogos y ahora, la primera en ser fechada en Guatemala. Es importante aclarar que debido a que la cronología se obtuvo de la capa cuyo pigmento fue el carbón, debe tenerse ciertas reservas en cuanto a la interpretación de su edad. En las muestras donde el carbón es el material que puede fecharse, es necesario tener alguna precaución al evaluar los resultados, debido a que existen algunos problemas potenciales debido a la posibilidad de que la evidencia esté compuesta de “madera vieja” o “carbón viejo”. La madera puede proceder de un árbol que murió algún tiempo antes de que fuera quemada para transformarse en carbón y similarmente, el carbón pudiera haber sido quemado en un momento desconocido, antes de que se empleara para hacer el pigmento para la pintura (Schiffer 1986). De esta forma, una fecha de radiocarbono procedente de un pigmento de carbón, puede fechar la muerte del árbol a partir del cual se hizo el carbón y no proporcionar la edad cuando se hizo la pintura (Bednarik 1994). Esto es válido tanto para el carbón arqueológico como para los pigmentos de las pictografías. Por esta razón, la fecha del “Diablo Rojo” debe interpretarse como una “antigüedad máxima” para la pictografía, lo cual implica que pudo haberse realizado en cualquier momento posterior.

Para Guatemala, esta primera determinación cronológica de pintura rupestre empleando plasma y radiocarbono AMS, ha iniciado el camino que permitirá que la tradición rupestre pueda ser asignada a un periodo determinado. La cronología de las pinturas rupestres de Chiquimula y de las de la Casa de las Golondrinas (Ciudad Vieja, Sacatepéquez, que están próximas a obtenerse), contribuirá de manera valiosa, por lo que se estará a la expectativa de los resultados proporcionados por el Departamento de Química de la Universidad de Texas A&M.

Agradecimientos

Este material está basado en el trabajo financiado gracias a la beca 0209312 de la *National Science Foundation*. KLS fue parcialmente financiado por la beca *Regent* de la Oficina del Vice-Director de Investigación. Fondos adicionales proceden de la Beca para Actividades Creativas y Eruditas de la Oficina del Vice-Director de Investigación, del Departamento de Química y del Colegio de Ciencias de la Universidad Texas A&M. El análisis de isótopos estables de carbono fue conducido por Thomas Boutton y Ethan Grossman. Marian Scott proporcionó las muestras del patrón FIRI. También se agradece a nuestro colaborador en este trabajo, Tom Guilderson, del Laboratorio Nacional Lawrence Livermore del Centro de Espectrometría de Aceleración de Masas. Nuestro agradecimiento es también extensivo a la

XIX Compañía de Bomberos Voluntarios de Amatitlán, Guatemala y a Sergio Ericastilla por todas las facilidades prestadas en la toma de muestras y conducción de las mismas, así como a Lucrecia de Batres por traducir esta investigación.

REFERENCIAS

Armitage R. A.

1998 *Radiocarbon Dating of Charcoal-Pigmented Rock Paintings*. Tesis Doctoral, Texas A&M University.

Armitage R. A., J. E. Brady, A. Cobb, J. R. Southon y M. W. Rowe

2001 Mass Spectrometric Radiocarbon Dates from Three Rock Paintings of Known Age. *American Antiquity* 66 (3):471-480.

Bednarik, R.G.

1994 Conceptual Pitfalls in Dating Palaeolithic Rock Art. *Prehistoire Anthropologie Mediterraneennes* 3:95-102.

Boutton, T. W.

1991 Stable Carbon Isotope Ratios of Natural Materials: I. Sample Preparation and Mass Spectrometric Analysis. En *Carbon Isotope Techniques* (editado por D.C. Coleman y B. Fry), pp.155-171. Academic Press, San Diego.

Bronk Ramsey, C.

2000 OxCal Program v 3.5. Disponible en www.rlaha.ox.ac.uk/orau/index.htm.

Chafee, S.D., M. Hyman y M. W. Rowe

1993 Direct Dating of Pictographs. En *American Indian Rock Art*, Vol. 19 (editado por F.G. Bock), pp.23-30. American Rock Art Research Association, San Miguel.

Chafee, S.D., M. Hyman y M. W. Rowe

1994 Radiocarbon Dating of Rock Paintings. En *New Light on Old Art: Recent Advances in Hunter-Gatherer Rock Art Research* (editado por D.S. Whitley y L.L. Loendorf), pp.9-12. Institute of Archaeology, University of California, Los Angeles.

Ericastilla, Sergio

1998 Informe de la visita al pictograma del cerro de La Mariposa. *Utz'ib* 2 (4):29-30. Asociación Tikal, Guatemala.

Gulliksen, S. y M. Scott

1995 Report of the TIRI workshop, Saturday 13 August 1994, *Radiocarbon* 37 (2):820-821.

Hedges, R. E. M., C. B. Ramsey, G. J. Klinken, P. B. Pettitt, C. Nielsen-March, A. Etchegoyen, J. O. F. Niello, M. T. Bosch y A. M. Llamazares

1998 Methodological Issues in the ¹⁴C Dating of Rock Paintings, *Radiocarbon* 40 (1):35-44.

Hyman, M. y M. W. Rowe

1997 Plasma extraction and AMS ¹⁴C dating of rock paintings. *Techne* 5:61-70.

Ilger, W., M. Hyman, J. Southon y M. Rowe

1995 Dating Pictographs with Radiocarbon, *Radiocarbon* 37(2):299-310.

- 1996 Radiocarbon Dating of Ancient Rock Paintings. En *Archaeological Chemistry: Organic, Inorganic, and Biochemical Analysis* (editado por M.V. Orna), ACS Symposium Series 625, pp.401-414. American Chemical Society, Washington, D.C.

Mata, Guillermo

- 1998 Reporte de una visita al pictograma del Cerro La Mariposa, conocido como "Diablo Rojo". *Utz'ib* 2 (4):27-29. Asociación Tikal, Guatemala.

Pace, M.F.N., M. Hyman, M. W. Rowe y J. R. Southon

- 2000 Chemical Pretreatment on Plasma-Chemical Extraction for ^{14}C Dating of Pecos River Genre Rock Paintings. En *American Indian Rock Art*, Vol. 24 (editado por F.G. Bock), pp.95-102, American Rock Art Research Association, Tucson.

Rowe, M. W.

- 2001 Dating by AMS Radiocarbon Analysis. En *Handbook of Rock Art Research* (editado por D. S. Whitley), pp.139-166. Altamira Press, New York.

Russ, J., M. Hyman, H. J. Shafer y M. W. Rowe

- 1990 Radiocarbon Dating of Prehistoric Rock Paintings by Selective Oxidation of Organic Carbon. *Nature* 348 (6303):710-711.

Russ, J., M. Hyman y M. W. Rowe

- 1992 Direct Radiocarbon Dating of Rock Art. *Radiocarbon* 34 (3):867-872.

Schiffer, M.B.

- 1986 Radiocarbon Dating and the Old-Wood Problem – the Case of the Hohokam Chronology. *Journal of Archaeological Science* 13 (1):13-30.

Stelman, K. L., M. Rowe, V. N. Shirokov y J. R. Southon

- 2002a Radiocarbon Dates for Rock Paintings in Ignatievskaya Cave, Russia: Holocene Age for Supposed Pleistocene Fauna. *Antiquity* 76:341-348.

Stelman, K.L., R. Rickman, M. W. Rowe, T. W. Boutton, J. Russ y N. Guidon

- 2002b AMS Radiocarbon Ages of an Oxalate Accretion and Rock Paintings at Toca do Serrote da Bastiana, Brazil. En *Archaeological Chemistry VI: Materials, Methods, and Meaning*, #831 (editado por K.A. Jakes), pp.22-35. ACS Symposium Series, Washington, D.C.

Stelman, K. L. y M. W. Rowe

- 2002c Potential for Virtually Non-Destructive Radiocarbon and Stable Carbon Isotopic Analyses on Perishable Archaeological Remains. En *Archaeological Chemistry VI: Materials, Methods, and Meaning*, #831 (editado por K. A. Jakes), pp.8-21. American Chemical Society, Washington, D.C.

- 2003 Non-Destructive Plasma-Chemical Extraction of Carbon from Organic Artifacts. En *C14 and Archaeology: Proceedings of the 4th Symposium, Oxford, 2000* (editado por T. Higham, C. Ramsey y C. Owen). Oxbow Books, Oxford. En prensa.