

Radiocarbono y Calibración: Potencialidades para la arqueología andina

*Elmo León Canales**

Resumen

Este artículo se basa en gran parte en el manual maestro de Taylor (1987) sobre radiocarbono, aun vigente a pesar del tiempo. No pretende, por tanto, ser exhaustivo en bibliografía, sino simplemente citar algunos textos básicos a modo de referencia. La segunda parte, menor y complementaria a la primera, es un ejercicio de calibración sólo sobre un episodio de la arqueología andina, en función de sopesar la importancia de examinar eventos pasados en años calendarios, en lugar de radiocarbónicos. La finalidad última de este ensayo es la de incentivar a los graduandos para aplicar calibración no sólo en sus investigaciones, sino también en sus tesis y trabajos monográficos, a fin de empezar a evaluar nuestra historia a partir de años siderales reales, y no sólo radiocarbónicos, que es lo que suele ser más común.

Palabras claves: Radiocarbono, calibración radiocarbónica, arqueología andina.

Abstract

This paper is mainly based on the handbook written by Dr. Taylor (1987) on radiocarbon, which is still in force despite of the years. It does not covers all the literature, but quotes some basic texts as references. The second part of the text, which is shorter and complementary to the first, is an exercise of calibration on a an episode of andean archaeology, as a means to evaluate the importanc of examining past events on calendar years instead of radiocarbon ones. The final aim of this essay is to motivate students to apply calibration in their research, as well as in their thesis and monographic works, in order to start evaluating our history on the basis of astral years and not only radiocarbon ones, which is currently the usual approach.

Keywords: Radiocarbon, radiocarbon calibration, andean archaeology.

* Elmo León Canales. Jr. Los Mogaburos 247, Dpt. 504. Lima 11. Perú. Correo electrónico: elmoleon@gmx.net

Introducción

Hace 4 años se conmemoró el 50 aniversario de la publicación y la consiguiente divulgación del método del radiocarbono por medio de la publicación del libro *Radiocarbon Dating* (Libby 1952). La primera muestra analizada (C-1) fue un trozo de madera de acacia de la tumba del faraón Zoser (3ra. dinastía) de Sakkara, Egipto, dando un resultado de 4650 ± 75 BP (Braiwood et al 1951: 53). A pesar de la mínima diferencia con respecto del fechado histórico, el método probó su eficacia, que fue recibida por la comunidad con entusiasmo (Collier 1952, Heizer 1956).

Algunos años antes (1949), Arnold y Libby habían dado a conocer los primeros resultados radiocarbónicos en su famoso artículo "Age Determinations by Radiocarbon Content: Checks with Samples of Known Age" publicado en la revista *Science*. Estas primeras pruebas comparaban fechados radiocarbónicos con históricos, sugiriendo la validez del radiocarbono como método de fechado.

Es desde ese primer momento hasta nuestros días -con avances como la recalibración de la secuencia de Egipto Pre-Dinástico (Savage 2001) o la recalibración del inicio de sociedades agro-pastoriles en Cercano Oriente hacia el 8,000 cal AC, con el despegue de la revolución urbana en Mesopotamia hacia el 6,000 cal AC (Aurenche et al 2001), hasta el descubrimiento que los primeros humanos se dispersaron más rápido desde Eurasia hacia Europa, en un lapso de tan solo 4,000 años calendarios en el Pleistoceno (Mellars 2006)- que el radiocarbono no ha cesado de brindar sus grandes aportes a prehistoriadores y arqueólogos.

El tremendo impulso cobrado por el radiocarbono generó una serie de proyectos para fechar muestras de distintos contextos, en un inicio del Mediterráneo, y probar la eficacia del radiocarbono. No tardó mucho en descubrirse lo que algunos han llamado la "segunda revolución radiocarbónica", i.e. la demostración por dendrocronología de que la producción de C^{14} bios-

férico no había sido constante ni temporal ni espacial, por lo que era necesario corregir o calibrar los fechados C^{14} (De Vries 1958), tanto para la arqueología internacional, como la del área andina.

Tal vez el mismo Libby nunca imaginó las repercusiones de semejante descubrimiento no sólo en el campo de la arqueología, sino también en el de la biología. La posibilidad de fechar a especímenes orgánicos con el fin de saber cuando fue el momento de su muerte, abrió un gran campo en las ciencias prehistóricas (Currie 2004). Más aún, la adición de la calibración radiocarbónica convierte al método en una herramienta capaz de ubicar en el tiempo, a escala de precisión anual, diferentes eventos desde el Pleistoceno hasta la actualidad, tanto en el Hemisferio Norte (Reimer et al 2004) como también en el Sur, incluidos los Andes (MacCormac et al 2002, 2004).

Por consiguiente, la nueva curva de calibración nos coloca por primera vez en condición de determinar con mucha más precisión eventos del pasado precolombino para evaluar sus verdaderas cronologías y descubrir sus reales conexiones y diferencias temporales. Son las calibraciones radiocarbónicas las que nos harán posible responder a la pregunta elemental en arqueología: ¿cuándo sucedió esto?

Radiocarbono: La "bomba atómica arqueológica"

Así fue calificado el método radiocarbónico por Johnson a finales de la década de 1940 (Johnson 1965:762). Según Taylor, si hay una fecha a celebrar como el aniversario del método es el 12 de julio de 1948, cuando una muestra egipcia fue la primera en fecharse por el radiocarbono (Taylor 2000: 2). Su descubrimiento solo podría ser equiparado al de la gran antigüedad de la especie humana (Daniel 1967: 266).

La historia se remonta a mediados de la década de 1930, cuando Korff examina la naturaleza y radioactividad de los rayos cósmicos (Taylor 1987: 151). Resulta curioso en este contexto,

que un episodio bélico como la Segunda Guerra Mundial promoviera investigaciones nucleares, que terminarían por beneficiar el conocimiento del radiocarbono. Es un buen ejemplo de cómo coyunturas negativas pueden aportar significativamente a la ciencia.

Parte de esta cadena de eventos fortuitos es la nominación de Libby como profesor de química en el Departamento de Química del Instituto de Estudios Nucleares en la Universidad de Chicago. No obstante, según Taylor, el proyecto C^{14} fue en un principio bastante discreto. Probablemente el primer reporte relacionado con ello, y donde él resume todo su propósito, fue en un trabajo publicado en junio de 1946 en *Physical Review*. Aquí, Libby no sólo postula la vida media radiocarbónica, sino también la diferencia de contenido C^{14} entre organismos vivientes y carbón fósil, el núcleo de la teoría radiocarbónica (Libby 1946).

Aparentemente, la primera vez que Libby comentó a sus colaboradores sobre su intención de fechar restos orgánicos por medio del radiocarbono fue a fines de 1946. Fue entonces que James Arnold, colaborador de Libby, se lo mencionó al director del Museo Metropolitano de Nueva York, Ambrose Lansing, quien de inmediato le solicitó el fechado de algunas muestras. El *request* de Lansing fue la primera solicitud de esta índole dirigida a Libby en Chicago, en enero de 1947. El paquete contenía lo que sería la primera muestra para fechar con el código C-1: un trozo de madera de ciprés de la tumba de Sakkara del faraón Zoser de la Tercera Dinastía Egipcia.

Resulta de interés para el área andina, que uno de sus principales investigadores, Paul Fejos, fuera quien posibilitara el desarrollo del programa de Libby en sus inicios. La necesidad de fondos para continuar con el proyecto puso a Libby, por medio de su mentor, Harold Urey, en contacto con Fejos, por ese entonces director del *Viking Found for Anthropological Research*. A fines de 1947, Libby, Anderson y Arnold se hallaban en plena investigación, cuando Fejos invita a Libby

a dar un *lecture* en Nueva York para el año siguiente. Taylor cuenta que luego de presentar el método, el público enmudeció y sólo el arqueólogo Richard Foster se vio sumamente interesado y hasta solicitó a Libby el envío de muestras. Arnold y Libby se dieron luego cuenta de que probablemente eran las grandes cantidades de carbón que se necesitaba para fechar, lo que incomodó a los arqueólogos en el auditorio, mas aún a los: "...perros custodios de los Museos que no darían muestras a fechar" (Taylor 1987: 155); mientras que los geólogos parecían más razonables y accesibles. Como se puede observar aquí, el trauma del arqueólogo en ceder partes de una pieza arqueológica (con mayor razón si es "artística"), siempre ha existido.

Luego, se emprendió una campaña internacional para la obtención de muestras. Dentro de este contexto, es probable que el material requerido de Huaca Prieta llegara a Chicago para datación. De hecho, la primera muestra peruana en ser fechada es la C-75, un trozo de algarrobo de una vivienda Cupisnique y en asociación con maíz, a la época, por medio de *solid carbon* con un valor de 2665 ± 200 RYBP (i.e. 415-968 cal AC a 68.2% de probabilidad, y con la curva SHcal04).

Durante la actividad de laboratorio de Chicago, principalmente entre marzo de 1949 y principios de 1954, se fecharon más de 500 muestras. La primera lista de fechados fue publicada por mimeógrafo el 1 de enero de 1950 (Taylor 1987: 166). La misma, con algunas modificaciones, es la que aparece en febrero de 1951 (Arnold and Libby 1951), lo que incentivó a los laboratorios a presentar sus propias listas (Taylor 1987: 166).

Rápidamente el radiocarbono cobra auge, y es así que ya desde inicios de la década del 50 el *solid carbon* se implementa en 8 laboratorios en el mundo, que incluyen la Universidad de Arizona, Universidad de Copenhague, Lamont Geological Observatory, Universidad de Columbia, Universidad de Michigan, Instituto de Estudios Nucleares de Nueva Zelandia,

Universidad de Pennsylvania, Universidad de Saskatchewan, y Universidad de Yale (Taylor 1987: 167).

Pocos años después, algunos laboratorios iniciaron programas frente a la frecuente contaminación generada por el *solid carbon*. Es así que los laboratorios de Heidelberg en Alemania, Groningen en Holanda y el del US Geological Survey comenzaban a operar sus muestras por *gas counting* a partir de CO₂ o acetileno (Taylor 1987: 168). Para la inauguración de la revista *Radiocarbon* ya habían unos 20 laboratorios activos y en implementación a nivel mundial, entre ellos el British Museum y Cambridge (Inglaterra), Colonia y Hannover (Alemania), Gif y Saclay (Francia), Stockholm y Uppsala (Suecia), Dublin (Irlanda), Lovaina (Bélgica), Moscú (Rusia), Roma y Pisa (Italia), Berna (Suiza) y Trondheim (Noruega) (Taylor 1987: 168).

El desarrollo inicial del método llevó a grandes contribuciones en el mismo Estados Unidos ya desde la década de 1950. En el Este, con fechados de maíz en el Alto Missisipi hacia el 2000 BP, generando así el debate sobre inicios de la agricultura. En el Oeste, la gran erupción del volcán Mazama, Oregon, fue fechada hacia el 6,800 BP. Ello posibilitó que este evento volcánico pudiera ser vinculado con ocupaciones humanas como *terminus ante quem* o *terminus post quem*, una suerte de marcador cronológico. Incluso el famoso *Kennewick Man* puede también datarse en función de su posición debajo del estrato de ceniza del volcán (Taylor 2000: 5-6).

Fue también desde esta década que Hans Suess, llegado de Europa con experiencia previa en radioactividad en la Universidad de Hamburgo, Alemania, empieza una campaña de colaboración con Libby. Luego trabaja con el profesor Fergusson, quien estaba dedicado a la recolección de muestras para fechado por dendrocronología en el laboratorio de la Universidad de Arizona. El profesor Fergusson comprobó las variaciones de producción de C¹⁴ atmosférico que ya había hallado previamente el Dr. Vries (Suess 1992).

Producción de Radiocarbono

Dos principios básicos previos son la naturaleza química y la masa atómica de los elementos. El primero es la diferenciación entre elementos por presentar distintos números de protones en sus núcleos, lo que se conoce también como número atómico. El segundo es simplemente la suma del número de protones y neutrones en el núcleo de un átomo. Los átomos de un elemento tienen siempre la misma cantidad de protones en sus núcleos, no siendo así la cantidad de neutrones, que al variar, pueden cambiar la masa atómica. Justamente los átomos de esta variación de neutrones son conocidos como isótopos, aun manteniendo el mismo número atómico del elemento (Damon 1992; Taylor 1987: 1-5).

El carbono tiene también una naturaleza química característica. Forma parte de los seres vivos y es imprescindible en los procesos biológicos de los carbohidratos, proteínas, lípidos, etc. De manera natural, el carbono tiene 3 isótopos. Esto implica que los átomos de carbono tienen al 6 como número atómico. Sin embargo, por presentar diversos números de neutrones se producen tres isótopos de carbono C¹², C¹³ y C¹⁴. Todos ellos suelen estar presentes en todos los compuestos de carbono.

No obstante, el C¹⁴ es el único de los tres isótopos que es radioactivo, i.e. su núcleo es inestable. Por esta inestabilidad, es posible que pueda transformarse en N¹⁴ emitiendo una partícula beta con carga eléctrica, lo que hace muy sensible su detección dentro de una muestra orgánica, aún cuando su presencia sea tan baja como proporcionalmente la de un átomo C¹⁴ por mil millones de átomos de C¹².

El isótopo C¹⁴ se está generando siempre en la biosfera. Se produce por el bombardeo constante de rayos cósmicos con núcleos de N¹⁴. Una vez está en la biosfera, se combina con oxígeno para formar dióxido de carbono (CO₂). Este CO₂ se distribuye por toda la biosfera en océanos, lagos, ríos, y por medio de la fotosíntesis y la cadena alimenticia entre plantas y animales, incluyendo los seres humanos (Taylor 1987: 2).

A su muerte, un ser vivo deja de consumir C^{14} . Debido a su inestabilidad, su concentración empieza a disminuir según una proporción permanente. La vida media es una característica de átomos radioactivos. En el C^{14} es de 5730 ± 40 años -Cambridge Half-Life, i.e. CHL- (Taylor 1987: 4). Previamente, Libby la había estimado en 5568 años. Sin embargo, avances en medición determinaron que ese valor estaba en ca. 3% menos que el real. Por ello, fechas obtenidas a partir del valor 5568 años, deben ser multiplicadas a 1.03%, para su conversión en CHL. Ello es importante pues involucra, al menos, los fechados del laboratorio de Chicago, obtenidos en sitios clásicos como Huaca Prieta, Lauricocha, incluyendo algunos pioneros fechados en Huaca Santa Cruz (Mochica), Paracas e incluso Cahuachi, en el caso que tratamos ahora, para la cronología andina.

La norma pues se formulaba como: menos presencia de C^{14} en una muestra, más antigüedad. A partir de la existencia de la mitad de vida de un átomo C^{14} , el decaimiento (i.e. la transformación de C^{14} en N^{14}) es más lento progresivamente entre aproximadamente el 12 000 y el 40 000 BP. Entre 40 y 50 mil años atrás hay muy poca cantidad de radiocarbono presente en la muestra. La unidad de desintegración radiocarbónica por segundo se conoce como "Bequerel". La desintegración es constante, pero a la vez, espontánea, lo que hace necesario el uso de métodos estadísticos en el conteo (Lazos 2005).

La lista de organismos que pueden ser fechados viene incrementándose cada día de manera impresionante (cf. Hedges 1992: 175, Taylor 1987: 43-44). Ella incluye carbón, madera, celulosa de madera, madera fósil (la cual ha permitido calibración de alta resolución desde 14 milenios atrás), hojas de árboles, trigo, paja, humus, turba, plantas, granos (incluido maíz), grafito, colágeno y apatita de huesos ácido oxálico, frutas, plantas acuáticas, organismos marinos, hierbas, grass de zonas áridas, semillas, mijo, cuero, piel, cabello, pelos, y coprolitos, caparzones de

huevo, CO_2 atmosférico, carbonatos naturales, suelos con CO_2 , agua marina, agua de ríos, lagos y lagunas, fango y sedimentos de lagos, bloques de hielo, polen, incluso cerámica, escoria metálica, piedra, pinturas murales, y de abrigo y cuevas, cuando hay existencia de carbono en sus componentes. También hierro, meteoritos, corales (que hace posible ahora la calibración hasta ca. 24 000 años atrás), tufa, residuos sanguíneos, textiles y tejidos, papel, restos de peces, de insectos, resinas, y cornamentas.

Procedimiento para fechar muestras

El procedimiento para fechar muestras se inicia desde el recojo de campo con la selección de la muestra, pre-tratamiento de ella para determinar el valor isotópico C^{13} , y finalmente la conversión para la lectura de la muestra en años radiocarbónicos. Adicionalmente, se requiere calibrar el resultado obtenido, en función de convertirlo en años reales calendarios.

La primera fase del trabajo, i.e. la selección de la muestra, es extremadamente importante. El ideal es una selección conjunta de arqueólogo con la participación directa de al menos un representante del laboratorio al que va a ser remitida (Lazos 2005: 184).

De acuerdo a Hedges (1992: 165-183), existe una serie de parámetros recomendables para la selección de las muestras a fechar. Ellos se pueden resumir en dos. En primer lugar, cerciorarse de que la muestra está vinculada al evento a fechar. La pregunta es: ¿que relación tiene la muerte del organismo con el evento a fechar? Ello también implica un estudio detallado del contexto y del suelo donde está depositada la muestra. Este punto es fundamental, ya que no pocos casos demuestran errores de muestreo. Luego, habría que agregar observaciones de problemas tales como percolación, *permafrost*¹ e, incluso, desplazamiento de material por causas tafonómicas.

En segundo lugar, se requiere de una evaluación para descartar posible contaminación de la

muestra con otro tipo de madera (madera vieja). Por otro lado, fichas descriptivas del entorno de donde se ha recogido la muestra pueden ayudar mucho a los laboratoristas. Son también importantes las observaciones del arqueólogo de campo sobre los suelos de crecimientos de raíces, fango, proximidad a asfalto, productos derivados del petróleo y fósiles orgánicos como carbón natural (Taylor 1987: 40).

A pesar de los avances en cuanto al tamaño mínimo de muestra fechable por el AMS, es siempre recomendable manejar la muestra con pinzas esterilizadas y depositarla en cajas de metal limpias o en su defecto, papel aluminio (vidrios pueden romperse). Nunca usar bolsas plásticas, de papel o de algodón (que no es raro ver en múltiples proyectos andinos). Cuando es imprescindible tocar el material con las manos, evitar que tengan grasa, manchadas de petróleo, carbón en polvo, o crema de manos (Taylor 1987: 68). A falta de cajas de metal hay también la costumbre (nuevamente en el área andina) de envolver cuidadosamente la muestra en papel aluminio, no obstante, la integridad de la muestra así no queda fuera de posibles presiones, fraccionamientos y hasta trituramientos causados por material depositado de la excavación. Después de todo, justamente ya que el AMS trabaja con una fracción tan mínima, ello le hace más susceptible no solo a contaminación, sino al riesgo de la selección de una parte de la muestra no representativa (cf. Bronk Ramsey et al 2004). Por último, nunca rotular la muestra, sino solo por medio de una etiqueta sobre la parte externa del pomo o caja (Taylor 1987: 68).

Muestras de carbón para conteo de rutina suelen pesar entre 2 y 40 gr (12 gr en carbón como óptimo peso), mientras que para AMS de 0.5 a 1 gr. Para bivalvos marinos se necesita usualmente entre 10 y 100 gr., y 10 g para AMS. En caso de plantas, granos, hojas y coprolitos

entre 5 y 60 gr. para métodos convencionales y 1 a 2 gr. para AMS (Taylor 1987: 67).

El tratamiento de la muestra para la determinación de sus isótopos es la segunda fase del procedimiento. Esta etapa también es crucial pues es aquí donde sucede la purificación química y el aislamiento de contaminantes. La selección de la parte más pura va desde sencillos procedimientos como la extracción de partes mezcladas con impurezas, microorganismos, raíces, etc., hasta el uso de medios bioquímicos y lavados ultrasónicos (Taylor 1987: 41, 60). Cuidado especial merecen las muestras más antiguas debido a la exigua cantidad residual de C^{14} frente al C^{12} . Por tanto, nos dice Lazos (2005), este tipo de material es más sensible a la contaminación. Ello sin embargo, no implica que materiales más recientes no puedan contaminarse, dependiendo de la historia individual de cada muestra.

Muestras orgánicas terrestres, tales como carbón o madera depositadas en un suelo, aun por poco tiempo, han absorbido generalmente, variadas proporciones de carbonatos inorgánicos, frecuentemente carbonato cálcico ($CaCO_3$) por medio de percolación de agua o humedad basal. Generalmente, el uso de ácido clorhídrico (HCl) remueve tales carbonatos absorbidos (Taylor 1987: 41). En otras circunstancias, si la muestra está impregnada por otros materiales orgánicos, ellos pueden ser removidos por solventes apropiados, como benceno, éter, metanol o tolueno, aunque los solventes también contienen carbón (Taylor 1987: 42). De igual manera, muestras almacenadas en laboratorios y en museos por largo tiempo generalmente han sido manipuladas, lo que también resulta en contaminación. Por ello es sumamente importante incluir en el reporte si se ha usado algún preservativo (Taylor 1987: 42).

¹ Cubierta permanente de hielo sobre yacimientos arqueológicos, frecuentemente del Pleistoceno, y de latitudes altas.

Desde el contador de radiocarbono hasta el AMS

El conteo Beta de radiocarbono directamente en carbón natural, se llamó carbón sólido (*solid carbon counting*). En él se usaba un *screen wall counter* y un contador Geiger. Se obtenía CO₂ de la muestra por medio de la combustión o acidificación de ella. Luego, este gas era convertido por magnesio en carbón sólido (elemental), "carbón negro", cuyo muestreo era insertado directamente en el contador. Usualmente 12 gr. de carbón eran requeridos para un fechado con errores frecuentes de 200-300 años para muestras de hasta 5 000 años (Taylor 1987: 82). Sin embargo, su precisión era del ca. 5% en el conteo del C¹⁴, a lo que había que sumar la frecuente contaminación por productos de fisión. *Black carbon method* fue dejado de emplear alrededor de 1956, cuando Libby dejó el Laboratorio de Chicago (Taylor 1987: 82).

Por los problemas expuestos con el carbón sólido y avances en técnicas de conteo de gas precedentes de investigación nuclear, esta técnica fue reemplazada y superada rápidamente por conteo de gas (*gas counting*), donde la muestra es convertida en dióxido de carbono (CO₂), o un gas hidrocarbónico sintetizado de CO₂, elevando la precisión a 95%-99% y demostrando una eficiencia operativa y más práctica (Taylor 1987: 83). Además, por enriquecimiento isotópico, las muestras podían ser fechadas ahora 75 000 años, y sólo entre 1 y 5 gr. de carbón eran necesarios para edades como 40 000 años. Incluso, instrumentos de alta precisión redujeron los errores a un sigma de hasta 15 y 20 años. Las muestras requeridas bajo este método generalmente producían entre ±200-500 años C¹⁴ de precisión, y eran procesadas en promedio entre 48 y 120 horas (Taylor 1987: 96, table 4.1).

En la técnica llamada *liquid scintillation* (cintilación líquida), las muestras también son convertidas en CO₂, para luego ser sintetizadas en benceno (C₆H₆), el cual es inyectado por una solución cintilante que produce pulsos de luz en presencia de irradiación ionizada (Pollach 1992,

Taylor 1987: 76-77). Esta técnica fue desarrollada paralelamente al conteo de gas, y había sido usada en Chicago y Dublin. Sin embargo, fue ampliamente aceptada desde inicios de la década de 1960. Es desde esta época cuando se empezó a usar benceno por su alto contenido de carbón, además de poseer excelentes propiedades cintilantes. De hecho sigue siendo el método más frecuente en los laboratorios (Taylor 1987: 88-90).

Tanto para conteo por gas como también para *liquid scintillation*, una muestra promedio puede oscilar entre 0.25 y 5 gr, cuyo resultado promedio ±40-150 y un procesamiento de entre 24 y 72 horas superando de lejos al *solid carbon method*. Sin embargo, aun bajo ambos métodos, para alta precisión se requieren entre 10 a 20 gr de muestra, elevando la exactitud en un promedio de ±20-40 (Taylor 1987: 96, Table 4.1).

Los primeros ensayos con el AMS se dieron a fines de la década del 70. Ciertas imprecisiones, consecuencia del manejo químico por los anteriores métodos de conteo por gas, impulsaron la investigación para lograr sistemas de conteo directo (Taylor 1987: 90). Fue así como surge el AMS. La ventaja que proporcionaba era simplemente la disponibilidad de medir por conteo directo la masa isotópica del Carbono, que es la cambiante, según hemos visto bajo el principio de radioactividad (Hester 1987, Taylor 1987: 73). Previo pre-tratamiento, la muestra es ionizada por medio de la inserción de electrones en la cubierta externa de los átomos. Luego, los iones son canalizados en un tubo acelerador y polarizados por concentraciones debido a un campo magnético ejercido en el tubo. El grado de polarización de los iones depende mucho de la masa de cada uno de ellos. Luego, los iones seleccionados para el análisis alcanzan el colector de salida, quedando en el tubo por efecto de inercia y de excesiva polarización (Gove 1992). Finalmente, se les bombea fuera del espectrómetro y son leídos por medio de la energía de iones presentes, determinando así las concentraciones isotópi-

cas. En mediciones de rutina, se contrasta la concentración de C^{13} versus C^{12} (Taylor 1987: 73-74). Una muestra peruana procedente de la cueva de Pikimachay tiene la virtud de ser la primera en el mundo en ser fechada por el Laboratorio de Berkeley AMS, en 1978, corrigiendo el valor de 5080 ± 60 (UCLA-2118D) por el de 5900 ± 800 (Taylor 1987: 94). Medidores de tercera generación, hacen posible determinaciones de rutina usando solo miligramos de muestra de carbón (Taylor 1987: 95). De hecho, AMS solo requiere de 2 a 5 miligramos, pudiendo ser medidos en 1 a 2 horas, y logrando una precisión de $\pm 80-400$ (Taylor 1987: 96, Table 4.1).

Convenciones

Para obtener la fecha de una muestra, por lo general se asumen ciertos criterios básicos (Stuiver and Polach 1977, Taylor 1987: 3):

- La concentración de C^{14} ha permanecido siempre constante,
- La existencia de mezcla rápida y completa a través de reservorios de carbón,
- Las proporciones de C^{14} no han sido alteradas,
- La vida media del átomo de C^{14} es precisa,
- Los niveles naturales de C^{14} son medidos a precisión.

BP

La noción de BP (Before Present) es simplemente la fecha que proporciona el laboratorio en años radiocarbónicos antes de 1950 (año límite de los primeros fechados).

CRA

Otra convención extremadamente importante es que los laboratorios informan sus resultados en CRA (*Conventional Radiocarbon Age*), que significa que no es la edad real, la cual solo puede ser obtenida luego de la calibración. Algunos laboratorios presentan ya la calibración en sus informes, según la dendrocurva del momento, pero es imprescindible disponer siempre del CRA con el número correspondiente de laboratorio y, si es posible, el valor del fraccionamiento C^{13} .

Contaminación y fraccionamiento isotópico

Una medición de C^{14} en una muestra asume la pureza de carbón natural y su reducción a través del tiempo. Sin embargo, existe una serie de efectos físicos que pueden alterar los contenidos originales de C^{14} . De hecho el problema más común en las mediciones de muestras es la contaminación por la introducción de carbón extra, alterando el contenido natural C^{14} (Taylor 1987: 34-35).

El fraccionamiento incluye alteraciones de las proporciones isotópicas como la función de la masa atómica. El C^{14} es más "pesado" que el C^{13} y que el C^{12} . Empero, en procesos como la fotosíntesis isótopos más livianos son incorporados en la muestra. Por este motivo pueden suceder variaciones en las proporciones de C^{14} - C^{12} , que no guardan ninguna relación con la medición del tiempo (Taylor 1987: 35). Los valores de fraccionamiento dependen de cada tipo de material. Van desde CO_2 marino, cuyo C^{13} es 0 ± 2 , pasando por plantas como maíz con 10 ± 2 , hasta carbón con 25 ± 3 .

Sin embargo, las reacciones químicas no son las únicas que pueden generar fraccionamiento isotópico. La evaporación y la condensación pueden también conducir a ello. El carbono disuelto en el mar, por ejemplo, se enriquece en 0.7% en comparación con el CO_2 . Los laboratorios que disponen de AMS suelen presentar un informe del valor del fraccionamiento isotópico por muestra. Esta es presentada por la proporción entre C^{13} y C^{12} , y se mide por un espectrómetro de masas. Se expresa por δ^{13} (i.e. edad normalizada) que significa las partes per mil entre el C^{13} y el contenido internacional de carbonato (PDB), i.e. la desviación del PDB standard.

Efecto Reservorio (*Reservoir Effect*)

Es el cambio aparente originado por el depósito original de carbón con una anomalía de bajo o alto contenido de C^{14} . Si la muestra se ha formado en un medio que tenga un contenido diferente al del C^{14} atmosférico, entonces el fechado radiocarbónico será mayor o menor que la edad

dentro dependiendo de si contiene más o menos C^{14} que la atmósfera. Los bivalvos marinos cercanos a litorales tienen edades radiocarbónicas de aproximadamente 350 años más que otros organismos terrestres porque el mar tiene un contenido menor de C^{14} que la atmósfera (Taylor 1987: 33-34). Sin embargo, aparentemente, no sólo los medios ambientes son capaces de alterar el valor de C^{14} de una muestra. Mediciones C^{14} de muestras en distintas latitudes de la tierra de un mismo tiempo han resultado distintas. Como resultado del escudo magnético de la Tierra, los polos ejercen más actividad neutrónica, puesto que los rayos cósmicos son 5 veces más potentes que los del ecuador geomagnético. De ello se puede deducir que en el área andina, la actividad C^{14} ha sido menor comparativamente hablando. Para hacer un poco más complejo el panorama, los estudios dendrocronológicos han demostrado que también existe un efecto reservorio entre árboles que crecen en zonas de más y menos altitud, con una variación de C^{14} en $\pm 0.5\%$ (ca. 40 años) (Taylor 1987: 7). Y si bien puede tratarse de variaciones mínimas cuando tratamos de eventos arqueológicos como los andinos, no sabemos aun cuan "mínimas" puedan ser, en vista de la carencia de este tipo de estudios fundamentales en los Andes. Ello también incluye áreas de mayor radiación solar, pues tal como se ha comprobado hay una mayor actividad C^{14} en áreas insoladas.

Efecto Suess, o Industrial

Desde mediados del siglo XIX, el uso cada vez más intensivo de combustibles fósiles e industriales han incrementado dramáticamente el CO_2 atmosférico. Como resultado de ello, la actividad radiocarbónica se ha reducido drásticamente, con una disolución de 2% en la primera mitad del siglo XX, haciendo poco recomendable el uso de madera que ha desarrollado desde 1890 (Suess 1992, Taylor 1987: 36-37).

Efecto Carbono Bomba

Otro factor que ha incrementado considerablemente el C^{14} atmosférico es la serie de pruebas de armas nucleares y detonaciones entre 1945 y mediados de los años 70. El enorme incremento del flujo de neutrones termales produjo artificialmente la casi duplicación del C^{14} en el Hemisferio Norte (Taylor 1987: 37-38) e incluso (algo que nos toca directamente), lo aumentó en un 60% en el Hemisferio Sur, cuyo pico máximo fue alcanzado en 1965. Investigaciones del proyecto WOCE (*World Ocean Circulation Experiment*) demuestran que el Pacífico es un área afectada por el Efecto Carbono Bomba, lo que permite sugerir la posibilidad de efectos colaterales en este lado del Pacífico Este (Nydal 2000), i.e. área cercana a los Andes.

Desviación Standard

Por razones estadísticas, se impone el promediar el rango de distribución del resultado. Ningún resultado puede ser infinito, lo que obliga a usar conceptos estadísticos para representar de manera exacta las distribuciones (Taylor 1987: 103). Por convención, los laboratorios presentan sus resultados con una desviación standard (1 sigma), lo que implica un 68% de probabilidad (aproximadamente un tercio de 3). De igual forma, aproximadamente el 95% de probabilidad implica 2 sigmas, y finalmente 99% de probabilidad equivale a 3 sigmas. No obstante, el valor de 1 sigma es el mínimo valor en comparaciones de rutina de estimaciones de edades C^{14} (Taylor 1987: 104). Ahora bien, los programas de calibración disponen de elección de uno, dos o tres sigmas, que deberán ser aplicados en función estricta del fenómeno a comparar. Secuencias con una alta cantidad de fechados pueden ser evaluadas por 1 sigma, mientras que secuencias más espaciadas y con menos valores C^{14} , probablemente sean mejor evaluadas por 2, o eventualmente 3 sigmas, dependiendo del nivel de probabilidad deseado.

Evaluación de los fechados radiocarbónicos

Uno de los grandes aportes del radiocarbono es su función para estimar edades, sobre todo en sociedades ágrafas. De hecho, importantes observaciones tales como establecer cronologías absolutas para la Prehistoria de la humanidad en el Pleistoceno Terminal, pueden ser posibles gracias al radiocarbono. La misma importancia no sucede para épocas de las cuales se guarda registro escrito (Taylor 1987: 106). Precisamente este es el caso de los Andes, puesto que es bien sabida la falta de registro escrito hasta antes de la Conquista. Ello ha hecho a la cronología absoluta de la arqueología andina casi dependiente del radiocarbono. Precisamente, este es uno de los motivos por los cuales, los arqueólogos que trabajan con este tipo de "prehistoria" andina, deberían convertir los fechados radiocarbónicos en calendarios para poder saber con certitud los verdaderos tiempos en que sucedieron los hechos.

En cuanto a fechados erróneos, ya sean demasiado recientes o demasiado antiguos, vale la pena reproducir la tabla que Taylor nos ofrece (Ver Tabla 1).

Uno de los factores más importantes a evaluar, son el tipo de carbón a extraer como muestra. En especial, el carbón de procedencia aluvial, e incluso de permafrost deben ser tratados con cautela, pues son conocidos los problemas de desviaciones radiocarbónicas (Taylor 1987: 109-110). En la evaluación de fechados radiocarbónicos también hay que prestar atención a perturbaciones generadas, por e.g. bioturbación (frecuentemente causada por micromamíferos) o por factores antropogénicos. Sitios como cuevas y abrigos son afectados por este tipo de alteraciones (Taylor 1987: 111).

También hay que tener muy en cuenta el efecto reservorio. El caso típico es fechar organismos con contenido C^{14} , menor en variados porcentajes en comparación con los otros organismos vivientes. Los bivalvos marinos, o conchas, son frecuentemente sujeto de este problema (Hedges 1992: 171). Sin embargo, puede tam-

bién afectar a peces que se alimentan de sedimento lacustre. Los valores referenciales de efectos reservorio para muestras marinas para, al menos la costa norte, la central y la sur del Perú, pueden ser consultados en Marine DataBase de Paula Reimer (Reimer y Reimer 2001, <http://www.qub.ac.uk/arcpal/marine>). Tales valores son de fundamental importancia cuando se calibran fechados sobre este tipo de materiales, para lo cual hay una serie de dispositivos provistos en cada programa de calibración.

Otro valor reservorio interesante es el que se deriva de fechados en moluscos terrestres. El carbonato de la concha de un caracol terrestre, por ejemplo, puede contener una importante cantidad de carbonatos, diferente a su medio ambiente (e.g. Hedges 1992: 172). El área andina no escapa a este tipo de problemas, tal como el caso de algunos caracoles terrestres fechados para el Complejo Paiján (cf. Chauchat et al 1992).

Dentro de los valores reservorio terrestres hay que tener en cuenta a las plantas que estuvieron expuestas a vientos de fumarolas o de erupciones volcánicas, cuyos valores CO_2 no contienen C^{14} por su propia naturaleza geológica (Hedges 1992: 171). Este CO_2 magmático al mezclarse con el CO_2 atmosférico reduce la actividad radiocarbónica en áreas generalmente pequeñas. Las áreas del conocido Eje Neovolcánico del occidente de México, donde la historia de la actividad volcánica ha sido y aún es intensa, son sujeto de tales contenidos alterados de C^{14} atmosférico y, por tanto, de fechados absolutos. Investigaciones llevadas a cabo en el Mediterráneo y Europa sobre actividad volcánica prehistórica han resultado en variaciones entre 1 400 y 4 000 años de error (Taylor 1987: 131-132). Una aproximación similar sería interesante para el área central andina, en función de documentar áreas de actividad volcánica en relación con posibles alteraciones de C^{14} atmosférico. Arequipa puede ser un buen sujeto de estudio en este sentido, para empezar, si se tiene en consideración la alta actividad volcánica e

Principales causas de fechados radiocarbónicos anómalos

Edad aparentemente más reciente que lo esperado	• Errónea identificación de la muestra con respecto a su verdadera procedencia estratigráfica y contexto.
	• Depósito original de la muestra, en situación de mezcla debido a bioturbación y geoturbación.
	• Remoción insuficiente de raíces de carbón y hueso.
	• Remoción insuficiente de productos húmicos de degradación orgánica, percolados desde niveles estratigráficos superiores.
	• Aplicación inadecuada de valores de corrección reservorio.
	• Descuido del depósito de las muestras o depósitos inadecuados de muestras (bolsas de papel o cartón, bolsas de tela).
	• Materiales preservantes usados en las muestras, producidos por fuentes de carbón modernas.
	• Muestras rotuladas erróneamente.
	Edad aparentemente más antigua que lo esperado
• Depósito original de la muestra, en situación de mezcla debido a bioturbación y geoturbación.	
• Remoción insuficiente de productos húmicos de degradación orgánica procedentes de depósitos más antiguos.	
• Mezcla con fuente de carbón fósil (asfalto, lignita, alquitrán).	
• Remoción insuficiente de carbonatos de agua de lagos y lagunas.	
• Aplicación inadecuada de valores de corrección reservorio.	
• Materiales preservantes usados en las muestras, producidos por fuentes de carbón modernas.	

Tabla 1. Principales fuentes de valores C^{14} para contextos arqueológicos típicos (tomado de Taylor 1987: 107).

incluso las capas de ceniza volcánica producidas por la erupción del volcán Huaynaputina, registrada para el 1600 AD, y sus potenciales consecuencias en el contenido C^{14} de depósitos arqueológicos anexos.

Calibración radiocarbónica y las nuevas curvas IntCal04 y SHCal04

El impacto de la calibración radiocarbónica fue tal que hasta Renfrew se atrevió a tildarla como la "segunda revolución radiocarbónica", por sus grandes aportes en la cronología absoluta de Europa, desde las tumbas megalíticas hasta los

tempranos templos de Malta, que como consecuencia, fueron sujeto de revisiones importantes (1973). Luego de las calibraciones radiocarbónicas, varios planteamientos difusionistas quedaron atrás, estableciendo, por ejemplo, que las tumbas megalíticas eran más antiguas que las pirámides egipcias, los templos de Malta sorprendentemente más antiguos que los del Cercano Oriente, e incluso, que la metalurgia cuprífera de los Balcanes era más antigua que en la propia Grecia (Renfrew 1973).

Por otro lado, la calibración radiocarbónica se hizo poco a poco más necesaria, no sólo por la

necesidad de correlacionar eventos en el pasado fechados por otros métodos (TL, OSL, Hidratación de Obsidiana, etc.) que proporcionan resultados calendarios, sino también cuando se los trata de insertar en el medio ambiente, el cual también se suele plantear en años calendarios. Por tanto, al parecer, la historia del área andina, estrictamente desde este punto de vista de años calendarios, está aún por escribirse.

De hecho, el esfuerzo en cuanto la conversión de años radiocarbónicos en calendarios para una mejor aproximación y evaluación de eventos pasados data casi desde el descubrimiento del método del radiocarbono. Se partió entonces de la premisa de que la intensidad constante de rayos cósmicos había sido errada. Es más, no se habían tenido en cuenta los efectos de ella sobre el campo geomagnético terrestre, y otros efectos de la actividad solar sobre la del C^{14} atmosférico (Becker 1992, Sternberg 1992). Para solo citar un ejemplo de efecto geomagnético, la variación es tan alta que desde hace 20 kyr en 400% se redujo hasta 100% en el 10,000 BP (cf. Sternberg 1992: 99). En cuanto a la relación entre actividad solar y posibles cambios climáticos, se ha planteado la relación entre oscilaciones climáticas y reducciones de temperatura a veces drásticas en directa relación a un aumento de $A14y$, a su vez, baja actividad solar. De ellos el periodo *Spoerer* entre ca. 1380-1520 es uno de los más fuertes, que si bien está satisfactoriamente documentado para el Hemisferio Norte (Damon y Jirikowic 1992), suscita preguntas como algún posible impacto en el área andina, en el contexto del final del Periodo Intermedio Tardío y el inicio del Horizonte Tardío. Mas aún, sobre la base de la *quasi* simultaneidad de eventos medioambientales entre el Hemisferio Norte y el Sur (Rothlisberger 1986).

La historia de los inicios de la dendrocronología data de 1906 hasta los años 30, cuando A. E. Douglass hace los primeros ensayos en USA (Douglass 1935, citado por Becker 1992: 34), sobre todo en función de reconstrucciones de

clima en el pasado. Uno de los descubrimientos más importantes de Douglass fue que los anillos de coníferas presentaban un crecimiento reducido durante épocas secas. Poco tiempo después, un colaborador de Douglass, Schulman, descubrió árboles en California que le permitieron presentar una secuencia dendro de 4600 años (Becker 1992: 35). Inspirado en este logro, Bruno Huber, un botánico alemán, a base esfuerzos de correlacionar secuencias dendrocronológicas europeas, logra fechar varias culturas del Neolítico (Huber y Merz 1963, citado por Becker 1992: 38).

Hacia fines de los años 50, pruebas coordinadas de medición de los laboratorios de Cambridge, Copenhagen, y Heilderberg produjeron una serie de determinaciones del C^{14} sobre muestras de anillos de árboles, demostrando una variación consistente en el C^{14} biosférico en alto porcentaje durante los últimos 1300 años (Willis et al 1960). Este hallazgo no hacía mas que confirmar el pionero descubrimiento de De Vries en 1958, cuando se refirió a que los años radiocarbónicos no deben ser asumidos como equivalentes a años siderales o calendarios (De Vries 1958). De hecho, hoy en día, se conoce al Efecto De Vries como sinónimo de las oscilaciones de la curva (*wiggles*) (Taylor 1987: 30).

Desde aquellos tiempos, han pasado ya más de cuatro décadas de esfuerzo de un buen número de laboratorios tratando de documentar las diferencias sistemáticas entre los años radiocarbónicos y los años calendarios (Taylor 1987: 133).

En esta historia, hay dos hitos importantes. En primer lugar, el esfuerzo en la creación de una curva a base de múltiples series-dendro (Arizona, Groningen, La Jolla, Pennsylvania y Yale) que alcanzaba hasta 7200 años. En segundo lugar, la recomendación dada en el 12º International Radiocarbon Conference (1985) sobre el uso oficial de las curvas de calibración de Stuiver y Pearson para el periodo entre el 2500 AC hasta el presente (Taylor 1987: 133), para

posteriormente ampliarla hasta el 5000 AC (Stuiver and Pearson 1992). A partir de esta fecha se han generado nuevas curvas en búsqueda de alta precisión de calibración, además de una generación de al menos 6 *softwares*, tanto europeos como norteamericanos, para microcomputadores sencillos, de modo tal, que cada investigador puede contar con esta valiosa herramienta en su PC. La curva, además, se ha ampliado por medio del uso de madera fósil, y sobre todo rebasa el *Lust Glacial Maximum*² a base de mediciones U/T³ en corales (cf. Bard y Menot-Combes 2004, Becker 1992: 47, Kitagawa y van der Plicht 2000, Stein et al 2000, Stuiver y Pearson 1992: 32). Por último, la aplicación de la estadística bayesiana en función de complementar la precisión de la calibración, i.e. de usar el teorema de Bayes en función de convertirlo en una herramienta matemática para invertir la calibración en probabilidades, ha hecho de ella una herramienta bastante precisa (Buck et al 1996), a pesar de recientes críticas (Steier y Rom 2000).

Una rápida exploración de la última curva de calibración es suficiente para observar anomalías que pueden repercutir en el planteamiento de las cronologías absolutas clásicas del área andina. Es evidente que en muchos ejemplos, como las secciones de la curva de calibración, un mismo fechado radiocarbónico puede tener múltiples equivalentes fechados calendarios (i.e. plateaux). De acuerdo a Taylor, esto implica que para algunos periodos, el tiempo radiocarbónico es "elástico", i.e. puede ser "alargado" o "acortado". Un "plateau" famoso es el llamado "Hallstatt" (en homenaje a la cultura suiza del primer milenio AC). De esta forma, fechados de entre 2400 y 2530 BP, se pueden distribuir en un plano casi horizontal que se encuentra aproximadamente entre el 410 y 790 AC, i.e. ca. 380 años de imprecisión. Dentro de este mismo periodo, uno

puede poner en duda la validez de gran parte de la secuencia radiocarbónica del Horizonte Temprano andino, incluyendo la posición calendárica verdadera de fases dentro del Horizonte Temprano (en especial Urabarrío). Una investigación relativamente reciente muestra que este periodo está determinado por una alteración de rayos cósmicos y por la trayectoria errática virtual del polo geomagnético terrestre durante ca. 2800-2200 BP. A este fenómeno se le conoce como "Sterno-Etrussia" *Geomagnetic Excursion* (Dergachev et al 2004).

Ahora bien, ¿qué necesitamos para evaluar y calibrar un fechado radiocarbónico? Dos fuentes. En primer lugar, obviamente el informe correspondiente del contexto de donde procede la muestra. Hay que recordar que se pueden obtener una serie de fechados en laboratorios de prestigio internacionales con última tecnología. Sin embargo, si la muestra procede de un contexto disturbado, no se relaciona con el evento a fechar, o si incluso hay sospechas de contaminación, el fechado no tiene validez. De modo que la importancia del contexto se haya en directa proporción al mismo procedimiento del fechado radiocarbónico en el laboratorio. En segundo lugar, disponer, en la medida de lo posible, del informe del propio laboratorio para evaluar el pretratamiento mecánico y químico, y el propio fechado.

Cuando se tiene el informe del laboratorio en la mano, hay que asumir convenciones como la edad media de decaimiento (o transformación radiocarbónica), ya sea la de Libby (5568), o Cambridge (5570), el uso de 1950 como 0 BP, el uso directo o indirecto de NSB ácido oxálico usado frecuentemente, la normalización de las muestras a base de su fraccionamiento isotópico y la aceptación de la constancia de niveles de C¹⁴ en la atmósfera durante el tiempo (Taylor 1987: 137). Estos datos deben estar en el informe, así

² Último Avance Glacial entre el 18 000 BP y el Dryas III (ca. 11 000 BP).

³ Método de fechado por Uranium/Thorium.

como también, si son disponibles, valores reservorio (en caso de muestras carbonatadas), que en todo caso dependen estrictamente de la localidad de donde la muestra procede, y deberían ser discutidos con el director del laboratorio.

En cuanto a las desviaciones standard, ellas son necesarias, por los motivos ya expuestos. Laboratorios convencionales suelen presentar el fechado con un sigma de error (68%). Doblar este error nos aproxima al 95% de probabilidad, i.e. dos sigmas. Siguiendo el manual de Taylor, podemos ofrecer fechados absolutos a modo de ejemplo, pero esta vez usando algunos de los Andes y con la curva SHCal04 (2005), en función de evaluar la diferencia de uno y dos sigmas.

En el primer caso, en la muestra ISGS-507: 2400 ± 100 RYBP, para Chakinani, se observa el típico problema ya identificado como "DeVries wiggles", i.e. los llamados "plateaux". Bajo ambas probabilidades las variaciones son tan grandes, que poco sirve todo ensayo de precisión, pues ambas fechas se distribuyen sobre 4 o 5 centurias calendáricas de imprecisión, de modo tal que este fechado simplemente es un indicio de la distorsión de gran parte de la cronología absoluta para Chavín de Huántar. Un test de calibración sobre todas las muestras procedentes del sitio, y bajo contexto bien controlado y documentado puede ser revelador, no sólo para este sitio clave para la cronología andina, sino también para el Horizonte Temprano.

El segundo caso es tomado del fechado Gd-6196: 810 ± 70 RYBP sobre madera, aparentemente hallada en una tumba Chancay. El resultado es 1190 cal AD-1296 cal AD con un sigma de probabilidad. El valor relativamente bajo de la desviación standard, así como la situación de la muestra sobre la curva donde hay poca variabilidad o anomalías de producción C^{14} , le confieren una aproximación bastante aceptable y compatible con la cronología tradicional de la cultura Chancay.

Problemas con el radiocarbono en los Andes

Pensamos que poco hay que agregar a las acertadas observaciones que se han vertido previamente por el proyecto de catalogación de fechados radiocarbónicos andinos (Ziólkowski et al 1994). Doce años han pasado ya de esta interesante publicación que pretendió la ambiciosa tarea de reunir todos los fechados radiocarbónicos andinos. Sin embargo, por el contenido de este trabajo, vale la pena recordar los 7 puntos planteados. No vamos a abundar en detalles. El lector puede consultar directamente el trabajo original (Ziólkowski et al 1994: 9-21).

El primer problema concierne a los valores consignados como vida media del radiocarbono (Ziólkowski et al 1994: 9). De hecho, si bien la variación es mínima, y viene ya en el paquete del programa moderno de calibración, es necesario tenerla en cuenta en la lectura e interpretación del fechado radiocarbónico.

1. ISGS-507: 2400 ± 100 RYBP

736 cal AC – 213 cal AC al 68.2% (i.e. 523 años calend.)

767 cal AC – 198 cal AC al 95.4% (i.e. 569 años calend.)

Muestra de carbón asociado directamente a cerámica Chakinani (hay el efecto del Plateau de Hallstatt, cuando se aplican tanto 1 como 2 sigmas de probabilidad).

2. Gd-6196: 810 ± 70 RYBP

1190 cal AD – 1296 cal AD al 68.2% (i.e. 106 años calend.)

1052 cal AD – 1389 cal AD al 95.4% (i.e. 337 años calend.)

Muestra de madera, supuestamente de contexto funerario asociada a cerámica Chancay (la muestra también se ve afectada por un pequeño plateau entre aproximadamente 1000 y 1200 AD).

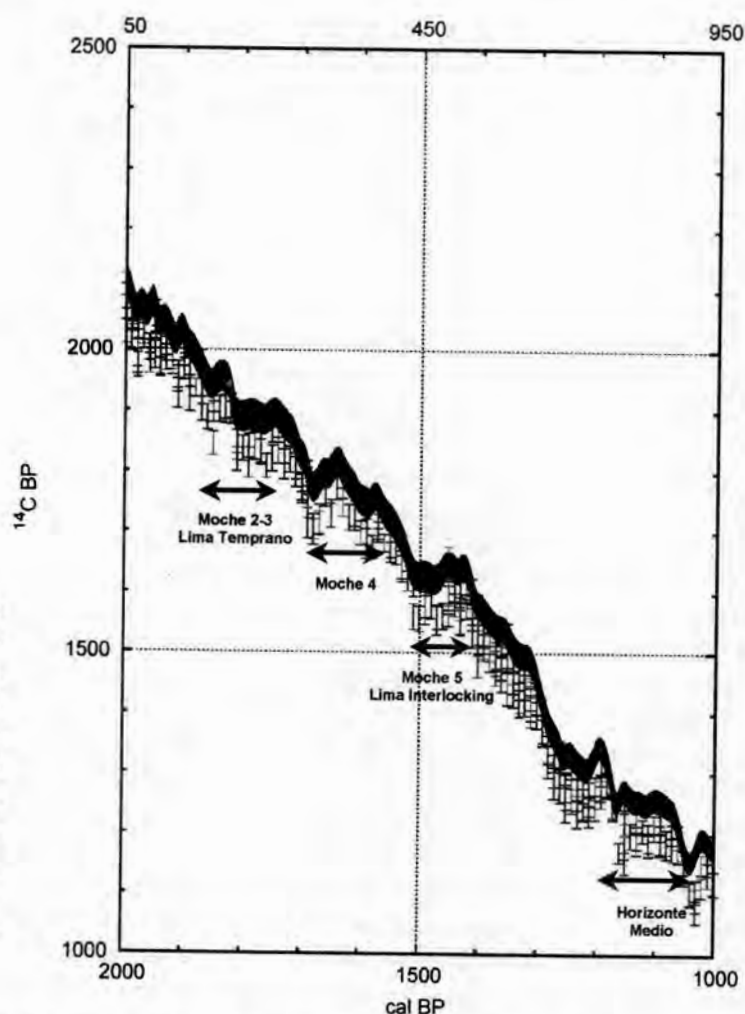


Figura 1. Parte AD de la Curva de Calibración SHCal04 (MacCormac et al 2004). Nótese la irregularidad de los conocidos wiggles (cf. De Vries 1958) y cómo pueden afectar parcialmente la cronología de varias de las secuencias prehispánicas peruanas -e.g. Moche, Lima, Horizonte Medio- sólo en esta parte de la curva.

Un segundo punto es el de la precisión del método usado. Bien nos recuerda Ziolkowski que varios de los fechados andinos son tan antiguos como el nacimiento del mismo método de radiocarbono. Por consiguiente, una serie de fechados han sido obtenidos por medio de *solid carbon*, un método, como hemos visto, con un potencial grande de contaminación pretratamiento (*ut supra*). El resultado de la comparación de fechados de la misma muestra por varios laboratorios demuestra claramente la imprecisión de este método, al menos hasta su funcionamiento, a mediados de los años 50. Tal es el caso de la misma muestra fechada por Lamont

Observatory y el Laboratorio de Chicago con un rango de margen error de más de 600 años radiocarbónicos (cf. Ziolkowski et al 1994: 10).

El tercer problema, i.e. el "Suess Effect", resulta ahora casi mínimo en vista de las correcciones automáticas de los programas de calibración informáticos. Empero nos hacen tomar ciertas precauciones cuando se trata con muestras fechadas por *solid carbon*, hasta antes de la introducción del ácido oxálico NBS como standard.

Un cuarto punto toca al fraccionamiento isotópico. La práctica de la mayoría de los laboratorios hoy en día de proporcionar fechados "normalizados" (*normalized*), es relativamente

reciente. Es por ello, que muchas muestras de las primeras décadas de fechados deben ser tomadas con un error por no haber efectuado fraccionamiento isotópico y detectar el contenido específico C^{14} de ellas. Mas cuidado aun merece el caso de fechados en organismos marinos con alto contenido de carbonatos y en organismos terrestres como el maíz.

El quinto problema expuesto puede parecer absurdo, sin embargo es de consideración. Se trata de los frecuentes errores cuando se citan los fechados en diferentes publicaciones. En principio, se entiende que todos los fechados deben ser siempre expresados en BP (AP) o AD (DC), sin embargo, es evidente que por descuidos e ignorancia se los han reportado de las más diversas formas (cf. Ziolkowski 1994: 12-13). Por consiguiente, hay que prestar siempre atención a la publicación original, o probar por respuesta directamente de la fuente, i.e. el laboratorio.

Los laboratorios brindan actualmente el fechado radiocarbónico y la calibración con la última curva en uso. Usualmente se coloca 1 sigma como rango de probabilidad. Sin embargo, uno puede aplicar dos y hasta tres sigmas de probabilidad, de acuerdo al software. Se impone también la selección de la curva IntCal04 (para el Hemisferio Norte) o Shcal04 (para el Sur). En este procedimiento, nosotros no estamos de acuerdo con Ziolkowski cuando él con su equipo no estiman importante ni adecuado insertar en la calibración el Error del Hemisferio Sur. A doce años de la imprecisión impuesta por la única referencia del Hemisferio Sur (Pretoria, Sudáfrica), hoy en día hay una serie de puntos de referencia donde se han obtenido valores en función de establecer no sólo errores de esta índole (MacCormac et al 2002, 2004), sino incluso de disponer de toda una curva de calibración para el Hemisferio Sur, a la cual nos acabamos de referir, y que promete grandes cambios en la cronología absoluta del área andina (Fig. 1). Nosotros la recomendamos para los fechados andinos, pues a pesar de que los andes centrales están cerca del

Ecuador, la Shcal04 es más apropiada para nuestra área de investigación versus la IntCal04. La única limitación es que la dendrocurva Shcal04 termina antes, en 9682 años radiocarbónicos antes del presente, y por tanto no cubre por ahora el Pleistoceno Terminal.

La estimación de los errores por desviación standard debe ser también tomada en cuenta, pues en algunos casos, al parecer no hay referencias ni en la literatura, ni por medio del laboratorio. Pueden haber también errores de los propios laboratorios, falta de código por el propio laboratorio, errores en cadena por falta de mantenimiento o control del laboratorio, hasta falta de información sobre localización y contexto de las muestras.

Nosotros agregaríamos, finalmente, la necesidad de valores reservorio para el Perú, en función de contar con valores específicos de producción de C^{14} en los Andes.

Efectos de la calibración radiocarbónica en la arqueología andina

Pocos, pero notorios y prometedores, son los recientes trabajos de calibración con material andino en función de evaluar secuencias (Adamska 1991, Lau 2004), incluso en contrastación con fechados TL que sugieren radicales modificaciones cronológicas para Moche (Roque et al 2002). Sin pretender semejante análisis, a continuación vamos a hacer un solo ejercicio de calibración y evaluar la importancia de su aplicación en términos de precisión cronológica. La invitación para usar la curva y explorar sus efectos en la arqueología andina está dada.

El Complejo Ayacucho

En vista de la potencial importancia del Complejo Ayacucho, aún a pesar de estar sustentado por una sola fecha, se le ha tomado como ejemplo. Hay que enfatizar que una fase debe estar sustentada por al menos una serie de fechados radiocarbónicos para sumar probabilidades. No se ha considerado al Complejo Pacaicasa por

las críticas ya expuestas (Rick 1988: 13-16). Solamente hay una muestra que fecha este Complejo, lo que de ninguna manera es suficiente para considerar a ésta como segura. Lo único que se puede concluir, es que es un indicio de la posible ocupación más antigua de los Andes centrales hasta el momento. Vamos ahora a tratar de la muestra, su resultado y su procedencia con asociaciones.

La muestra UCLA-1464 dio un valor medio de 14150 ± 180 (MacNeish et al 1981: 209). Aunque no estamos en contra del "promedio", mas aún tratándose de una sola muestra, pensamos que sería interesante incluir el conteo completo de la muestra para la calibración, tratándose probablemente de un fechado tan relevante. La medición se hizo por colágeno, en 1969, por medio del método de *gas counting*, resultando específicamente en tres lecturas: 14180 a los 2800 minutos, 14150 a los 1300 minutos y 14080 a los 1200 minutos (MacNeish et al 1981: 209, 212). Esta misma muestra se cita en la compilación de fechados radiocarbónicos del grupo polaco, empero erróneamente, como I-1464 y sin la calibración respectiva, pues en esa época aún la curva de calibración no había sido configurada para el Pleistoceno Final (cf. Ziolkowski et al 1994: 323). De igual modo, hay que añadir que no hay un reporte específico del pretratamiento de la pieza de hueso, en vista de las críticas vertidas al fechado de hueso (e.g. Tisnerat-Laborde et al 2003).

La muestra fue una porción de húmero de perezoso (probablemente: *Scelidotherium*) encontrada en la unidad S19.1E3, dentro del estrato "h" de la Cueva de Pikimachay (Ac100), a una profundidad de 2.67 m. La capa "h", de acuerdo al plano de la figura. 2.39 (MacNeish et al 1981: 49), se extiende al menos por 103.8 m², entre las unidades S11 y S25, y E1 y E14. Los autores presentan 5 cortes del área excavada. Sin embargo, lamentablemente, ninguno sobre el área del propio contexto (cf. MacNeish et al 1981: 44-47), lo que hubiera graficado mejor la situación estrati-

gráfica. Lo único que se puede concluir de los planos presentados es que, en efecto, la capa es bastante homogénea. En ningún caso a modo de lente, lo que sugiere un argumento a favor desde el punto de vista estratigráfico

Resulta curioso que en el informe final de las excavaciones no haya un gráfico que permita evaluar el contexto (MacNeish et al 1981). Esta documentación clave para examinar en detalle tal ocupación está publicada en un artículo (MacNeish 1979). Sobre la capa "h" entonces, se pueden apreciar cinco concentraciones llamadas áreas de actividad 1, 2, 3, 4 y 5. La muestra procede del área de actividad 3, y a pesar de que no está expresamente señalizada, ha podido ser ubicada exactamente sobre el punto referido S19.1E3 con el código Z1-11 (cf. MacNeish 1979: 35, fig. 19). El fragmento procede entonces, del área centro-este de dicha concentración. En general, el área de concentración 3 es de contorno irregular, de aproximadamente 3.57 m. de largo por 3.71 m. de ancho, con una profundidad entre 7 y 13 cm, por tanto relativamente reducida, lo que recuerda típicas concentraciones del Paleolítico Superior europeo (e.g. Czesla 1990). El tipo de huesos sugiere que se trata del mismo animal.

El fragmento de húmero datado se encuentra rodeado de otros huesos, también generalmente de la misma especie. Un primer punto a considerar es qué fecha es el hueso que se ha datado. De allí la importancia del contexto. Hay dos posibilidades: 1) Que el hueso proceda de un evento animal natural o incluso tafonómico, e.g. bioturbación; o 2) Que haya sido transportado antrópicamente. Dado los especímenes hallados en el contexto del área de actividad 3, i.e. artefactos líticos, su distribución en *quasi* forma de abanico, desechos de talla, posibles áreas de combustión cercanas e incluso huesos con huellas de corte -aún cuando falte documentación apropiada, e.g. Haynes 2000- es posible plantear la hipótesis de que el hueso de húmero fechado proceda de un evento producido por humanos.

Es importante también señalar la presencia de algunos artefactos que resultan claves en el propio contexto, aunque por la corta distancia podría considerarse todo como de un mismo evento. Examinemos primero a los más cercanos. En un radio de un metro hay que destacar un fragmento de costilla de *Scelidotherium* con huellas de corte, y sobre todo una serie de piezas dentales, probablemente del mismo animal. En un radio de 2 a 3 metros hallamos al menos 12 supuestos utensilios líticos agrupados a modo de abanico con orientación Este-Sur-Oeste en el sentido de agujas de reloj. Se trata de un hendidor unifacial en guijarro (B7), tres raederas en guijarro (SS55), tres lascas con borde utilizado (SS6), un supuesto buril (SS58), dos denticulados grandes (SS52 y SS53), una raedera sobre laja (SS50), y una raedera sobre lasca (SS21). También hubieron tres extremos proximales de lascas (P) (MacNeish 1979: 35, fig. 19). Se ha tratado de ubicar la descripción o material gráfico de esta colección y no se ha tenido éxito. Sin embargo, al menos dos fotografías dan cuenta del material existente en las demás áreas de concentración que en todo se hallan en un radio de 6.5 m desde la muestra fechada, i.e. incluyendo las 5 áreas de concentración. Si bien la fotografía no permite observar con detalle la posible tecnología lítica de esta serie, nos permitimos sugerir la posible veracidad de retoque sobre piezas que podrían clasificarse como denticulados y posiblemente un hendidor unifacial (cf. MacNeish 1979: 44-45, figs. 22.6, 22.7 y 23.3, 23.14). Es también significativo que este material esté tallado sobre materia prima de alta silicificación a juzgar por el lustre que se puede observar en contraste de negativos, y más aun por la organización de ellos.

Sobre esta misma capa también se ha publicado una punta de proyectil de hueso (MacNeish 1979: 35, fig. 19, concentración de la izquierda). Si bien, lamentablemente se hizo una foto del espécimen, éste permite observar la posibilidad de pulimento sobre ambos bordes, lo que habría resultado en una silueta bastante homo-

génea (MacNeish 1979: 45, fig. 23.4, MacNeish et al 1980: 309, fig. 8-1, espécimen superior derecho). Es de forma triangular y está elaborada en un fragmento de un metapodial de un caballo fosilizado (MacNeish et al 1980: 309). La punta mide 46 mm de largo por 25 mm de ancho. Dos de las principales características de esta pieza es la presencia de pulido en varios sectores, incluyendo reducción basal, y una serie de líneas y marcas mayormente verticales, sobre todo en el extremo distal (MacNeish et al 1980: 309 y 312).

Otra observación interesante es la presencia casi exclusiva de huesos largos en el área de concentración 1 de *Scelidotherium*, lo que para MacNeish responde a caza y descuartizamiento de los animales antes de ser transportados a la cueva (MacNeish 1979: 37).

En cuanto a las áreas de combustión también de la misma área, los autores mencionan el hallazgo de tres rocas posiblemente termofracturadas en ordenamiento circular, en un área de suelo enrojado. Además, cuatro huesos oscurecidos por posible evento de combustión han sido reportados (MacNeish et al 1980: 7). Este material procede del área de concentración 5 (MacNeish 1979: 38-39). Esta evidencia es extremadamente importante en vista de la posibilidad de eventos de combustión de carácter antropogénico. De hecho el fragmento de húmero fechado no dista más de 6 metros hacia el oeste de este material combustionado (cf. MacNeish 1979: 34-35, figs. 18 vs. 19), lo que se podría considerar una evidencia más de ocupación humana, ahora más bien desde un punto de vista espacial, siempre en referencia al hueso fechado.

El estrato "h", de 10 cm de espesor en promedio, aumenta hasta 30 cm hacia la boca de la cueva (MacNeish 1979: 33). Aquí se hallaron más de 100 "artefactos" líticos, 42 huesos de animal modificados antrópicamente con marcas de corte, pulidos y marcas aserradas (MacNeish 1980: 6), restos vegetales como *Chenopodiaceae* (MacNeish et al 1975: 14-15) y de semillas de *Abus*, los que sugieren que tal tipo de alimentación fue accesible (MacNeish et al 1980: 6).

En suma, a pesar de la poca documentación específica y la errónea identificación de material lítico (tal como en el caso de los “buriles”), en el balance se puede afirmar que algunos artefactos líticos aparentemente de material silificado, huellas de uso en huesos, concentración de artefactos, selectividad de huesos importados en la cueva y las posibles áreas de combustión expuestas podrían indicar que estamos en presencia de la ocupación más antigua de los Andes.

Veamos ahora el resultado de la calibración. Tendríamos en la figura 2 un fechado corregido a 15 271-14 610 años calendarios AC, con un sigma de probabilidad. Hay que señalar que puede existir una variación en esta precisión, pues la Shcal04 no cubre este periodo, por lo que este fechado ha sido calibrado con la IntCal04 para el Hemisferio Norte. No obstante, creemos que la diferencia no debe ser grandemente significativa. Es interesante comprobar que por efec-

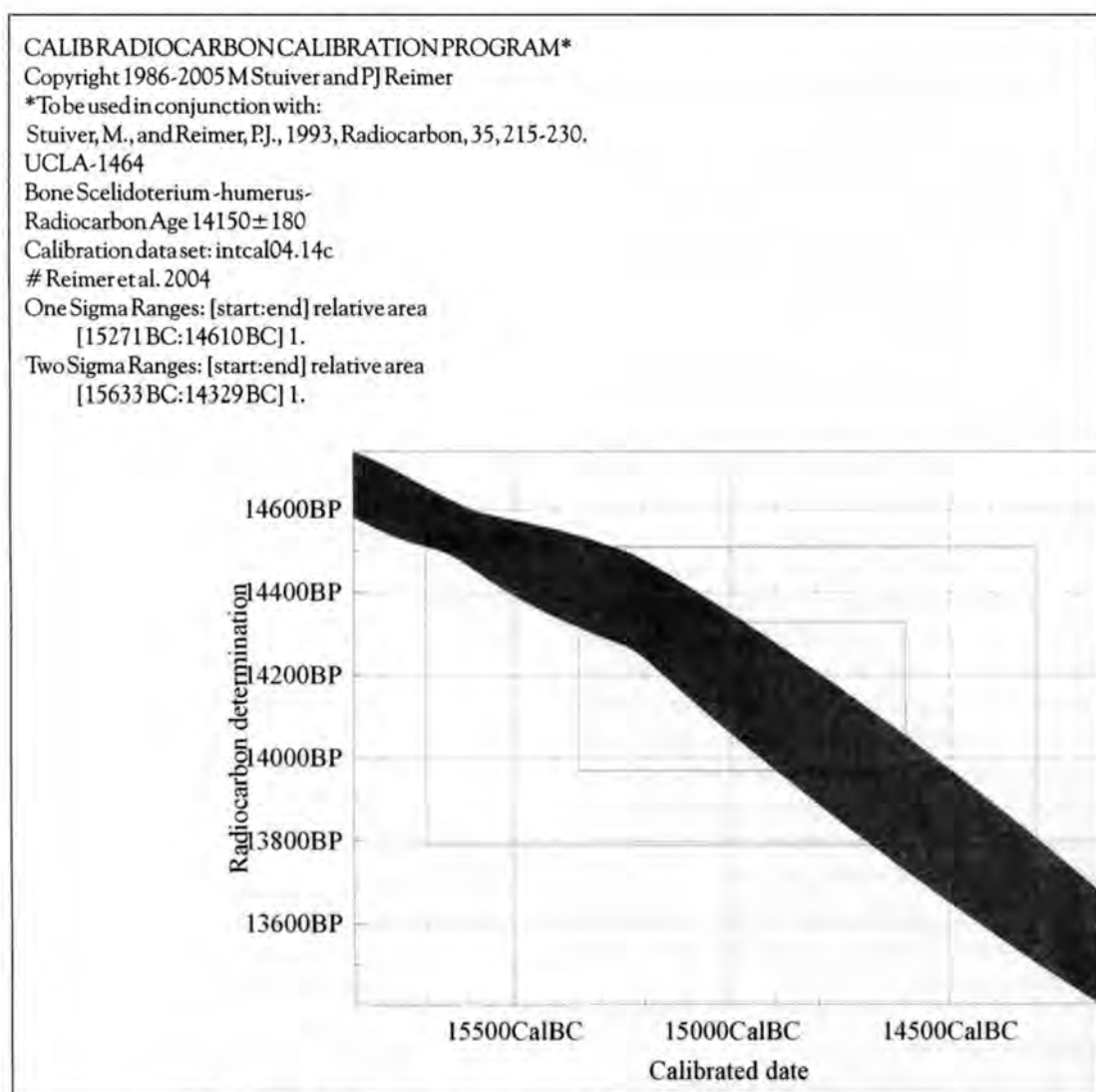


Figura 2. UCLA-1464 calibrado por medio de la IntCal04 a 1 sigma: 15271-14610 BC.

to de posición en la curva el fechado resulta más antiguo de lo supuesto.

Comentarios Finales

Una de las mejores formas de compenetrarse con el radiocarbono y la calibración es mediante el conocimiento de su historia y repercusiones no sólo a nivel de investigación personal y local, sino también regional, y más aun internacional. En ella, como hemos visto, Bird y Fejos han jugado un rol importante como proveedores de muestras andinas peruanas, incluso desde el mismo nacimiento del método.

Manejar los principios del método del radiocarbono no es simplemente el establecer fechados y corregirlos. Ellos son solo medios o herramientas en función de ubicar en el tiempo determinados eventos para luego interrelacionarlos, unos a otros, sin embargo, siempre desde la perspectiva necesaria de fechados corregidos, o calibrados, i.e. calendarios.

De igual forma, el contexto de donde procede la muestra es de extrema importancia antes de recoger la muestra o bien en el momento de su evaluación. No olvidemos la lección de Taylor, en la cual el arqueólogo es al final el responsable de la muestra, puesto que él la suministra.

El manejo del software de calibración, ya sea de los europeos o de los norteamericanos, no es difícil, pues solo OxCal dispone de un vasto manual que se haya en versión zip en el propio software. El día que se conciba la real importancia de la calibración radiocarbónica dentro del medio universitario peruano, se habrá avanzado un paso importante hacia la respuesta de la pregunta ¿cuándo pasó eso? Hace 2500 ± 100 años radiocarbónicos o realmente entre 750 y 470 AC. Por tanto, significa el Horizonte Temprano desde el punto de vista radiocarbónico, i.e. cronología absoluta?

Agradecimientos

A Duccio Bonavia, por sus valiosos comentarios y correcciones. De igual modo a Paula

Reimer (Belfast Laboratory, Irlanda) en cuanto al radiocarbono y calibración. Finalmente a Olaf Joeris (Laboratorio de Radiocarbono, Universidad de Colonia, Alemania) por haberme motivado en este campo durante mi doctorado en la Universidad de Bonn, Alemania.

Bibliografía

- Adamska A.
1991 *The Inca State Chronology in Light of Radiocarbon Dates*. Master's thesis Department of History, Warsaw University.
- Arnold, J. R. y W. F. Libby
1949 "Age Determinations by Radiocarbon Content: Checks with Samples of Known Age". *Science* 110: 678-680.
- Arnold, J. R. and W. F. Libby
1951 "Radiocarbon Dates". *Science* 113: 111-120.
- Aurenche, O, P. Galet, E. Régagnon-Caroline, J. Évin
2001 "The Birth of Agriculture, Livestock Raising, and Ceramics: A Calibrated ^{14}C Chronology 12,500-5,500 cal BC". *Radiocarbon* 43 (3): 1191-1202.
- Bard, E., F. Rostek, y G. Menot-Combes
2004 "A Better Radiocarbon Clock". *Science* 303: 178-179.
- Becker, B.
1992 "The History of Dendrochronology and Radiocarbon Calibration". En R.E. Taylor, A. Long, and R.S. Kra (eds.). *Radiocarbon After Four Decades. An Interdisciplinary Perspective*, pp. 34-49. Springer Verlag, New York.
- Braiwood, R. J., T. Jacobsen, R. Parker, and P. Weinberg
1951 "Radiocarbon Dates and their Implications in the Near and Middle Eastern Area. A Brief". En *Radiocarbon Dating*, assembled by F. Johnson, pp. 54-55. *Memoirs of the Society for American Archaeology*, N. 8. The Society for American Archaeology. Salt Lake City.

- Bronk Ramsey, C., T. Higham, and P. Leach
2004 "Towards High-Precision AMS: Progress and Limitations". *Radiocarbon* 46 (1): 17-24.
- Buck C. E., W. G. Cavanagh, and C. D. Litton
1996 *Bayesian approach to interpreting archaeological data*. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Tokyo, Singapore: John Wiley & Sons.
- Chauchat, C. (with the collaboration of E. S. Wing; J.-P. Lacombe; P.-Y. Dermars, S. Uceda Castillo & Carlos Deza)
1992 *Préhistoire de la Côte Nord du Pérou. Le Paijanién de Cupisnique*. Cahiers du Quaternaire N° 18. Centre National de la Recherche Scientifique. Centre Régional de Publication de Bordeaux. CNRS Éditions. Paris.
- Collier, D.
1952 "Radiocarbon Dating". *American Anthropologist* 54 (4): 558-559.
- Currie, L. A.
2004 "The Remarkable Metrological History of Radiocarbon Dating". *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology* 109: 185-217.
- Cziesla, E. (ed.)
1990 *The Big Puzzle: International Symposium on Refitting Stone Artefacts, Monrepos, 1987*. Holos Verlag. Bonn.
- Damon, P. E.
1992 "The Natural Carbon Cycle". En R.E. Taylor, A. Long, and R.S. Kra (eds.). *Radiocarbon After Four Decades. An Interdisciplinary Perspective*. pp. 17-18. Springer Verlag. New York.
- Damon, P. E. and J. L. Jirikowic
1992 "Solar Forcing of Global Climate Change?" En R.E. Taylor, A. Long, and R.S. Kra (eds.). *Radiocarbon After Four Decades. An Interdisciplinary Perspective*, pp. 117-129. Springer Verlag. New York.
- Daniel, G.
1967 *The Origin and Growth of Archaeology*. Crowell. New York.
- Dergachev, V. A., O.M. Raspopov, B. Van Geel, G. I. Zaitseva
2004 "The 'Sterno-Etrussia' Geomagnetic Excursion around 2700 BP and Changes of Solar Activity, Cosmic Ray Intensity, and Climate". *Radiocarbon* 46 (2): 661-681.
- De Vries, H.
1958 "Variations in concentration of radiocarbon with time and location on earth". *Proceedings, Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Series B* 61: 1.
- Gove, H.E.
1992 "The History of AMS, its Advantages over decay counting: Applications and Prospects". En R.E. Taylor, A. Long, and R.S. Kra (eds.). *Radiocarbon After Four Decades. An Interdisciplinary Perspective*, pp. 214-229. Springer Verlag. New York.
- Haynes, G.
2000 "Mammoths, Measured Times, and Identities". *Radiocarbon* 42 (2): 257-269.
- Hedges, R.E.M.
1992 "Sample Treatment Strategies in Radiocarbon Dating". En R.E. Taylor, A. Long, and R.S. Kra (eds.). *Radiocarbon After Four Decades. An Interdisciplinary Perspective*, pp. 165-183. Springer Verlag. New York.
- Heizer, R. F.
1956 "Radiocarbon Dating". *American Anthropologist* 58 (2): 394-395.
- Hester, J. J.
1987 "The Significance of Accelerator Dating in Archaeological Method and Theory". *Journal of Field Archaeology* 14 (4): 445-451.
- Johnson, F.
1965 "The Impact of Radiocarbon upon Archaeology". En Chatters, R.M., Olson, E.A. (Eds.). *Proceedings of the Sixth International Conference Radiocarbon and Tritium Dating*, pp. 762-780, Springfield, Virginia.

- Kitagawa, H and J. Van der Plicht
2000 "Atmospheric Radiocarbon Calibration Beyond 11,900 Cal Bp From Lake Suigetsu Laminated Sediments". *Radiocarbon* 42 (3): 369-380.
- Lau, G.
2004 "The Recuay Culture of Peru's North-Central Highlands: A Reappraisal of Chronology and its Implications". *Journal of Field Archaeology* 29: 177-202.
- Lazos Ramirez, L.
2005 "Fechamiento por Radiocarbono". En: Rodrigo Esparza López y Efraín Cárdenas García (eds.). *Arqueometría. Técnicas Nucleares y Convencionales Aplicadas a la Investigación Arqueológica*, pp: 181-196. El Colegio de Michoacán.
- Libby, W. F.
1946 "Atmospheric Helium three and radiocarbon from cosmic radiation". *Physical Review* 69: 671-672.
- Libby, W. F.
1952 *Radiocarbon Dating*. University of Chicago Press. Chicago.
- MacCormac, F. G., P.J. Reimer, A. G. Hogg, T. F. G. Higham, M. G. L. Baillie, J. Palmer, y R. Stuiver
2002 "Calibration of the Radiocarbon Time Scale for the Southern Hemisphere: A.D. 1850-950". *Radiocarbon* 44 (3): 641-651.
- MacCormac, F. G., A. G. Hogg, P. G. Blackwell, C. E. Buck, T. F. G. Higham, y P. J. Reimer
2004 "ShCal04 Southern Hemisphere Calibration, 0-11.0 Cal Kyr BP". *Radiocarbon* 46 (3): 1087-1092.
- MacNeish, R. S., T. C. Patterson and D. L. Browman
1975 *The Central Peruvian Prehistory Interaction Sphere*. Papers of the Robert S. Peabody Foundation for Archaeology, vol. 7. Phillips Academy, Andover. Massachusetts.
- MacNeish, R. S.
1979 "The Early Man Remains from Pikimachay Cave, Ayacucho Basin, Highland Peru". En Robert L. Humprey & Dennis Stanford (eds.). *Pre-Llano Cultures of the Americas: Paradoxes and Possibilities*, pp 1-47. Anthropological Society of Washington.
- MacNeish, R. S., R. K. Vierra; A. Nelken-Turner, and C. J. Phagan
1980 *Prehistory of the Ayacucho Basin, Peru. Volume III, Nonceramic Artifacts*. Robert S. Peabody Foundation for Archaeology. Ann Arbor. The University of Michigan Press. Ann Arbor.
- MacNeish, R. S., A. G. Cook, L. G. Lumbreras, R. K. Vierra, and A. Nelken-Turner.
1981 *Prehistory Of The Ayacucho Basin, Peru. Volume II, Excavations And Chronology*. Robert S. Peabody Foundation For Archaeology. Ann Arbor. The University Of Michigan Press. Ann Arbor.
- Mellars, P.
2006 "A New Radiocarbon Revolution and the Dispersal of Modern Humans in Eurasia". *Nature* 439: 931-935.
- Nydal, R.
2000 "Radiocarbon in the Ocean". *Radiocarbon* 42 (1): 81-98.
- Pollach, H.A.
1992 "Four Decades of Progress in 14C Dating by Liquid Scintillation Counting and Spectrometry". En R.E. Taylor, A. Long, and R.S. Kra (eds.). *Radiocarbon After Four Decades. An Interdisciplinary Perspective*, pp. 198-213. Springer Verlag. New York.
- Reimer, P.J., Y R. W. Reimer
2001 "A Marine Reservoir Correction Database and On-Line Interface". *Radiocarbon* 43 (2A): 461-463.
- Reimer, P. J., M. G. L. Baillie, E. Bard, A. Bayliss, J. W. Beck, C. J. H. Bertrand, P. G. Blackwell, C. E. Buck, G. S. Burr, K. B. Cutler, P. E. Damon, R. L. Edwards, R. G. Fairbanks, M. Friedrich, T. P. Guilderson, A. G. Hogg, K. A. Huguen, B. Kromer, G. MacCormac, S. Manning, C. B. Ramsey, R. W. Reimer, S. Remmele, J. R. Southon, M. Stuiver, S. Talamo, F. W. Taylor, J. van der Plicht, C. E. Wehenmeyer

- 2004 "IntCal04 Terrestrial Radiocarbon Age Calibration, 0-26 Cal Kyr BP". *Radiocarbon* 46 (3): 1029-1058.
- Renfrew, C.
1973 *Before Civilization, the Radiocarbon Revolution and Prehistoric Europe*. Alfred A. Knopf. New York.
- Rick, J.W.
1988 "The Character and Context of Highland Pre-ceramic Society". En Richard W. Keatinge (ed.). *Peruvian Archaeology. An Overview of Pre-Inca Society*, pp: 3-40. Cambridge University Press. London.
- Roque, C., E. Vartanian, P. Guibert, M. Schvoerer, D. Lévine, W. Alva, y H. Jungner
2002 "Recherche chronologique sur la culture mochica du Pérou : datation de la tombe du Prêtre de Sipán par thermoluminescence (TL) et par radiocarbóne". *Journal de la Société des Américanistes* 88: 227-243.
- Rothlisberger, M.
1986 *10,000 Jahre Gletschergeschichte der Erde*. Verlag Sauerlander.
- Savage, S.
2001 "Towards an AMS Radiocarbon Chronology of Predynastic Egyptian Ceramics". *Radiocarbon* 43 (3): 1255-1277.
- Steier, P. y W. Rom.
2000 "The Use of Bayesian Statistics for 14C Dates of Chronologically Ordered Samples. A Critical Analysis". *Radiocarbon* 42 (2): 183-198.
- Stein, M., S. Goldenberg, A. Schramm.
2000 "Radiocarbon Calibration Beyond the Dendrochronology Range". *Radiocarbon* 42 (3): 415-422.
- Sternberg, R. S.
1992 "Radiocarbon Fluctuations and Geomagnetic Field". En R.E. Taylor, A. Long, and R.S. Kra (eds.). *Radiocarbon After Four Decades. An Interdisciplinary Perspective*, pp. 93-109. Springer Verlag. New York.
- Stuiver, M. y H. E. Polach
1977 "Discussion: Reporting of 14C Data". *Radiocarbon* 19: 355-363.
- Stuiver, M. and G.W. Pearson
1992 "Calibration of the Radiocarbon Time Scale, 2500-5000 BC". En R.E. Taylor, A. Long, and R.S. Kra (eds.). *Radiocarbon After Four Decades. An Interdisciplinary Perspective*, pp. 19-33. Springer Verlag. New York.
- Suess, H. E.
1992 "The Early Radiocarbon Years: Personal Reflections". En R.E. Taylor, A. Long, and R.S. Kra (eds.). *Radiocarbon After Four Decades. An Interdisciplinary Perspective*, pp. 11-16. Springer Verlag. New York.
- Taylor, R. E.
1987 *Radiocarbon Dating. An Archaeological Perspective*. Academic Press. New York.
- Taylor, R. E.
2000 "The Contribution of Radiocarbon Dating to New World Archaeology". *Radiocarbon* 42(1). 1-21.
- Tisnerat-Laborde, N., H. Valladas, E. Kaltnecker, y M. Arnold
2003 "AMS Radiocarbon Dating Bones at LSCE". *Radiocarbon* 45 (3): 409-419.
- Willis, E. H., H. Tauber, y K. O. Munnich.
1960 "Variations in the Atmospheric Radiocarbon Concentration over the Past 1300 years". *Radiocarbon* 2: 1-4.
- Ziólkowski, M. S., M. F. Pazdur, A. Krzanowski, and A. Michczyński
1994 *Andes. Radiocarbon Database for Bolivia, Ecuador, and Peru*. Andean Archaeological Mission of the Institute of Archaeology, Warsaw University & Gliwice Radiocarbon Laboratory of the Institute of Physics, Silesian Technical University. Warszawa Gliwice.