


Radiocarbono en anillos de un árbol y su relación con la variación temporal de CO₂ en la Ciudad de México

Gómez Chávez Marina Violeta¹, Ortiz Romero Vargas María Elba^{2*}, Segundo Gonzaga Lesly Nallely²

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Departamento de Física Nuclear y Aplicaciones de la Radiación, LEMA – Instituto de Física. Circuito Investigación Científica SN, Coyoacán, Ciudad de México. C.P. 04510. México.

²Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias Básicas. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

*Autor para correspondencia: meorv@azc.uam.mx

ORCID : 0000-0002-7623-6875

Recibido:

14/junio/2022

Aceptado:

30/diciembre/2022

Palabras clave:

Radiocarbono,
anillos de crecimiento,
CO₂

Keywords:

Radiocarbon,
growth tree rings,
CO₂

RESUMEN

En el presente trabajo se llevó a cabo la preparación de muestras de anillos anuales de crecimiento de un árbol Fresno ubicado en la UAM Azcapotzalco en la Ciudad de México para su análisis de ¹⁴C con Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS) en el LEMA (Laboratorio Nacional de Espectrometría de Masas con Aceleradores) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Se determinó que este árbol había nacido en 1980, y cada anillo del árbol contenía una proporción de ¹⁴C/ ¹²C que corresponde a un sitio con alto uso de combustibles fósiles. Al comparar los valores de radiocarbono con el CO₂ registrado por la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) en el mismo lapso de tiempo de vida del fresno y observar la estrecha correlación entre ellos, se pudo confirmar que las emisiones de CO₂ están estrechamente ligadas con el comportamiento del radiocarbono.

ABSTRACT

In the present work, the preparation of samples of annual growth rings of a Fresno tree located at the UAM Azcapotzalco in Mexico City and ¹⁴C analysis with Accelerators Mass Spectrometry (AMS) in the LEMA (National Laboratory of Accelerators Mass Spectrometry) of the National Autonomous Metropolitan University (UNAM) were carried out. It was determined fresno tree was born in 1980, and each ring contained a ¹⁴C/¹²C ratio which corresponds to a site with high use of fossil fuels. Radiocarbon tree values and CO₂ emissions recorded by Environment Secretary of Mexico City (SEDEMA) were compared. It could be confirmed that CO₂ emissions are closely linked to radiocarbon behavior.

Introducción

La contaminación del aire ha sido un tema de preocupación durante varios años. Se han realizado grandes esfuerzos para mejorar la calidad del aire, empleando nuevas estrategias de estudio y monitoreo de las emisiones de contaminantes atmosféricos tanto a nivel global como regional. Tal es el caso de la Ciudad de México y su área metropolitana, ubicada en una cuenca cerrada de gran altitud (~2300 msnm) rodeada de montañas y un volcán activo. Hay más de 20 millones de habitantes, alrededor de 30.000 industrias manufactureras y 5.9 millones de vehículos (Chow *et al.*, 2002; Aldape y Flores, 2005).

A pesar de ser una megalópolis, solo el 65% del área se clasifica como suelo urbano, y el resto corresponde a suelo rural, forestal y arbustal. Un resultado de esta complejidad es la emisión de altos niveles de una mezcla diversa de gases y aerosoles de varias fuentes, incluyendo la quema de combustibles fósiles, biomasa y desechos, con una importante contribución biogénica (Beramendi *et al.*, 2015).

Durante el año 2018, en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se emitieron 75.1 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente (CO_{2e}), de acuerdo con estimaciones del Inventario de Emisiones de la Ciudad de México (SEDEMA, 2018). El 58.3% de estas emisiones provienen principalmente del sector transporte e industrial.

En consecuencia, se requieren continuos estudios sobre el origen, transformación y composición de los contaminantes atmosféricos, en particular, del carbono. Este se puede encontrar acompañado de otros compuestos en forma de partículas de dentro de una gran gama de tamaños. Estas partículas con carbono tienen efectos negativos sobre la salud humana, generando enfermedades respiratorias y cardiovasculares en la población (Josipovic *et al.*, 2019), asimismo, tienen efectos negativos sobre el ambiente, contribuyendo al cambio climático (Aiken *et al.*, 2007), disminuyendo la visibilidad y afectando el balance radiactivo de la tierra (Chen y Bond, 2009; Zaveri *et al.*, 2012). Este carbono puede ser de origen fósil (generado por la quema de combustibles fósiles que solo contienen carbono 12 (¹²C)) o contemporáneo (generado por quema de biomasa, resuspensión de suelos naturales y emisiones biogénicas que contienen carbono 14 (¹⁴C)) (Szidat, 2009; Zhang *et al.*, 2012).

El ¹⁴C o radiocarbono es un isótopo cosmogénico distribuido en la atmósfera; aunque se encuentra en muy pequeñas cantidades, su origen y propiedades

radiactivas lo convierten en un trazador ideal en la determinación del aporte de las fuentes de carbono, ya que permite distinguir el carbono fósil del carbono contemporáneo (Marley *et al.*, 2009; Szidat, 2018). Debido a la baja abundancia del ¹⁴C en la biosfera, su análisis requiere el uso de técnicas especializadas como la espectrometría de masas con aceleradores (AMS, por sus siglas en inglés). Este radioisótopo se ha comenzado a usar en el ámbito ambiental como una herramienta para la observación de las emisiones y su impacto tanto en zonas rurales y urbanas (Fahrni *et al.*, 2010; Bernardoni *et al.*, 2012; Heal, 2014).

Una forma de emplearlo es dentro de la dendrocronología, la cual a su vez se comienza a usar para fines ambientales. Por lo que se refiere a esta, deriva de los lexemas “dentro” (árbol), “cronos” (tiempo) y “logos” (conocimiento) (Pérez, 2013), basando su estudio en las secuencias de anillos generadas por el árbol durante su crecimiento (Rodríguez, 2017).

El ciclo del carbono comienza con la fijación del anhídrido carbónico atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis, realizada por las plantas y ciertos microorganismos siendo la fijación de carbono por bacterias y animales otra manera de disminuir la cantidad de bióxido de carbono, aunque cuantitativamente menos importante que la fijación de carbono por las plantas (INECC, 2007). Gracias a esta interacción del carbono con los organismos vivos, como son los árboles, se puede emplear la dendrocronología para observar las condiciones ambientales durante la vida de un árbol y contribuir al control mejoramiento medioambiental.

En este trabajo se pretende observar la variación temporal del dióxido de carbono (CO₂) mediante el análisis del ¹⁴C de anillos anuales de árboles de la Ciudad de México y compararlos con los registros oficiales de dependencias gubernamentales para así determinar algún patrón o tendencia de las emisiones contaminantes en la ciudad.

Metodología

En 2018 se taló un árbol tipo fresno ubicado en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) de la Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México. Se tomaron dos muestras transversales del tronco del fresno con barrena de incremento a una altura aproximada de 1.3 metros desde el suelo. Las muestras se llevaron al Laboratorio Nacional de Espectrometría de Masas con Aceleradores (LEMA) del Instituto de Física de la Universidad Nacional

Autónoma de México (IFUNAM) y se almacenaron en tubos de vidrio a 4°C.

Preparación de las muestras de los anillos anuales del fresno

Cada muestra transversal se limpió en un extractor Soxhlet con una mezcla de etanol:tolueno (2:1) por 24 horas, para eliminar suciedad contaminante (Beramendi-Orosco *et al.*, 2010). Para obtener las muestras de cada uno de los anillos anuales de crecimiento, se separaron cuidadosamente con una cuchilla de acero inoxidable y cada muestra se molió en un molino de bolas, después se empleó el Método Base-Ácido-Base de Flores y colaboradores (2017).

Posteriormente, se tomaron aproximadamente 6 mg de cada muestra y se encapsularon en un crisol de estaño. La muestra ya lista se metió en un vial de plástico y se etiquetó para ser quemada y grafitizada.

Grafitización de las muestras

La muestra se quemó en un Analizador Elemental tipo Vario MicroCUBE (Elementar Analysensysteme GmbH) a 950°C, acoplado a un equipo de grafitización AGE III (Ion Plus).

Análisis de ¹⁴C de las muestras

El grafito obtenido de las muestras de cada anillo de crecimiento del árbol, se prensó en un cátodo de aluminio, para posteriormente analizar su contenido de ¹⁴C directamente con el Espectrómetro de Masas con Aceleradores (AMS) del LEMA.

Los resultados de ¹⁴C obtenidos fueron expresados como fracción de carbono moderno (f_M), y se obtienen de los cocientes ¹⁴C/¹²C y ¹³C/¹²C de la muestra y del estándar OXII (utilizado en el LEMA como blanco ya que carece de ¹⁴C) (Solís *et al.*, 2014), siguiendo la convención de Stuiver y Polach (1977).

Comparación entre las variaciones de CO₂ y el ¹⁴C de los anillos anuales del fresno

Se realizó una búsqueda avanzada y recopilación de las emisiones de CO₂ en la Ciudad de México de los últimos 30 años en sitios web oficiales de la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA). Se analizaron los datos estadísticamente para encontrar patrones de comportamiento de las emisiones de CO₂ a través del tiempo de vida del fresno y se compararon con los resultados de ¹⁴C anteriormente obtenidos. Para así observar correlaciones entre las emisiones de CO₂ y el ¹⁴C existente en la biosfera en el mismo momento y lugar.

Resultados y discusión

La Tabla 1 muestra el ¹⁴C contenido en los anillos de crecimiento anual del árbol tipo fresno muestreado en la UAM Azcapotzalco y el ¹⁴C presente en el hemisferio norte dos (HN II), datos tomados de Levin y colaboradores (2003), en una zona limpia de emisiones por uso de combustibles fósiles en el periodo de 1985 a 2018, haciendo una comparación con el CO₂ presente en ese mismo periodo de tiempo en la Ciudad de México.

Tabla 7. ¹⁴C absorbido por un fresno de la Ciudad de México (este trabajo) y en el HN II, y el CO₂ en el ambiente (Millones de ton/año).

Año	¹⁴ C		CO ₂
	Ciudad de México	HN II	
1985	1.14	1.20	
1992	1.08	1.14	
2001	1.03	1.09	
2004		1.07	35.19
2005		1.07	
2006	1.01	1.06	37.76
2007	1.01	1.06	
2008	1.00	1.06	43.77
2009	1.00	1.06	
2010	0.98	1.06	43.62
2011	0.99	1.06	
2012	0.98	1.05	42.14
2013	0.99	1.05	
2014	0.98	1.05	43.91
2015	0.99	1.06	
2016	0.99	1.06	21.00
2017	0.99	1.05	
2018	0.99	1.05	

Se observa que las emisiones de CO₂ disminuyen hasta el año 2004 y a partir de ese año aumenta. Con un máximo en el 2014 y una gran disminución en el 2016. Esta disminución se debe a un cambio en la metodología de cálculo PROAIRE 2018 (ProAire, 2018).

Se sabe que las emisiones de dióxido de carbono provenientes del uso de combustibles fósiles, están ligadas al comportamiento del ¹⁴C, en especial el efecto de dilución. Para comprobar esto se compararon los datos obtenidos de ¹⁴C del fresno en Azcapotzalco con los registros de CO₂ de la Ciudad de México del periodo analizado.

La figura 1 muestra los datos presentados en la Tabla 1, Se observa que descendió en mayor proporción el radiocarbono del fresno que el del HN II.

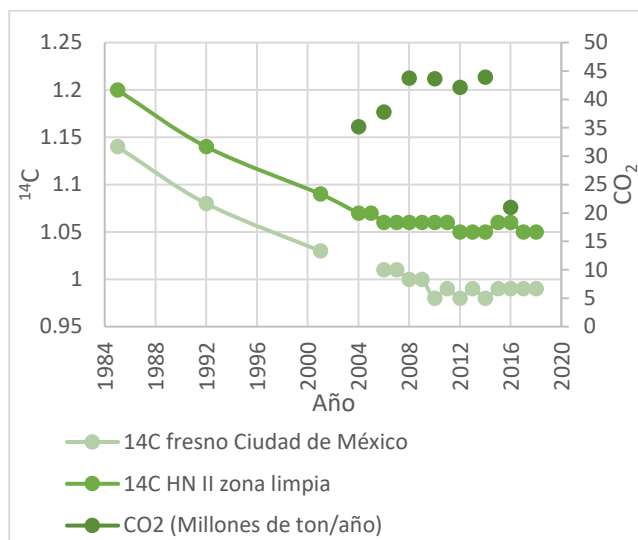


Figura 1. Gráfica de dispersión de la fracción de ^{14}C del fresno y del HN II, comparado con el CO_2 en el ambiente en Millones de ton/año.

El ^{14}C del fresno se encuentra por debajo de los valores del HN II, el cual se ubica en una zona considerada limpia de emisiones fósiles por lo que se toma como referencia. Este hecho puede deberse a que el fresno analizado se encontraba en una zona donde existe una alta emisión de contaminantes, ya que en la alcaldía de Azcapotzalco es una zona cercana a la zona industrial Vallejo que es la más grande en la Ciudad de México, el tráfico vehicular es elevado y esta alcaldía colinda con la central camionera del NORTE. Por lo mencionado, se presenta un efecto de dilución de ^{14}C por el dióxido de carbono de origen fósil, generando un menor valor que el encontrado en el HN II. Por lo que se puede afirmar que el fresno analizado en este estudio nació y vivió en la Ciudad de México.

De acuerdo con los datos obtenidos del árbol y comparados con los valores presentados en zonas clasificadas como limpias, se confirma la relación existente entre las emisiones de CO_2 y el ^{14}C , ya que a mayor cantidad de CO_2 el ^{14}C fijado en los anillos de los árboles es más bajo, esto ocasionado por el efecto de dilución. Lo cual es más sencillo de visualizar en la Gráfica 1.

De acuerdo con la SEDEMA, el CO_2 en la Ciudad de México tiene una tendencia hacia el aumento. Ese incremento se debe a que se trata de una zona urbana en constante crecimiento por lo que la contaminación generada por vehículos, fábricas y actividades humanas

antropogénicas genera una alteración considerable en las emisiones de CO_2 .

Conclusiones

Durante esta investigación se observó que existe registro de las emisiones de CO_2 sólo a nivel nacional y no regional, además de que estos registros son de emisiones provenientes de las industrias y transporte, dejando de lado las emisiones procedentes de la quema de biomasa y otras fuentes biogénicas.

En esta investigación se logró identificar que el CO_2 está ligado directamente con el ^{14}C , si hay un aumento de CO_2 ocurre una disminución en el ^{14}C , este comportamiento se comprobó con un árbol fresno de la alcaldía de Azcapotzalco, y aunque los datos de variaciones del ^{14}C no precisamente fueron para este lugar si no para datos generales de México se obtuvo una buena comprobación de esta relación.

Se necesitan más estudios de ^{14}C en México para diferentes zonas del país ya que con esto se puede observar el impacto ambiental que sufre nuestro país año tras año, ya que el CO_2 sigue en aumento debido a los sectores de transporte e industria, siendo un gas de mayor proporción en los gases de efecto invernadero (GEI), teniendo un largo periodo de vida, y seguir buscando alternativas para poder disminuir este gas que afecta a nuestro país, provocando daños a la salud de los habitantes.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fis. Arcadio Huerta y a la Dra. María Rodríguez Ceja del LEMA por el apoyo técnico para la realización de esta investigación.

Referencias

Aiken, A. C., Salcedo, D., Huffman, J. A., Ulbrich, I., DeCarlo, P. F., Cubison, M. J., Docherty, K., Sueper, D. T., Worsnop, D., Trimborn, A., Northway, & M., Prevot, A., (2007). *Aerosol Analysis with the High-Resolution Time-of-Flight Aerosol Mass Spectrometer at the Urban SuperSite (T0) in Mexico City during MILAGRO*.

Aldape, F y Flores, J. (2005). Elemental composition and source identification of PM 2.5 particles collected in downtown México city. *Inter J. of PIXE*, 5, 263-270.

Beramendi-Orosco, L. E., Gonzalez-Hernandez, G., Villanueva-Diaz, J., Santos-Arevalo, F. J., Gómez-Martinez, I., Cienfuegos-Alvarado, E. y Urrutia-Fucugauchi, J. (2010). Modern radiocarbon levels for Northwestern Mexico derived from tree rings: A comparison with

- Northern Hemisphere zones 2 and 3 curves. *Radiocarbon*, 52, 907-914.
- Beramendi-Orosco, L., Gonzalez-Hernandez, G., Martinez-Jurado, A., Martinez-Reyes, A., Garcia-Samano, A., Villanueva-Diaz, J., Amador-Muñoz, O. (2015). Temporal and Spatial Variations of Atmospheric Radiocarbon in the Mexico City Metropolitan Area. *Radiocarbon*, 57(3), 363-375. doi:10.2458/azu_rc.57.18360.
- Bernardoni, V., Calzolari, G., Chiari, M., Fedi, M., Lucarelli, F., Nava, S., Piazzalunga, A., Riccobono, F., Taccetti, F., Valli, G. y Vecchi, R. (2012) Radiocarbon analysis on organic and elemental carbon in aerosol samples and source apportionment at an urban site in Northern Italy. *Aerosols Science*, 56, 88-99.
- Chen Y., and Bond T. C. (2009). Light absorption by organic carbon from wood combustion. *Research. Atmospheric Chemistry and Physics*.
- Chow, J. C.; Watson, J. G.; Edgerton, S. A. y Vega, E. (2002) Chemical composition of PM_{2.5} and PM₁₀ in México city during winter 1997. *The Science of the Total Environment*. 287, 177-201.
- Fahrni, S.M., Gäggeler, H.W., Hajdas, I., Ruff, M., Szidat, S. y Wacker, L. (2010). Direct measurements of small ¹⁴C samples after oxidation in quartz tubes. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 268, 787-789.
- Flores J.A., Solís C., Huerta A., Ortiz ME., Rodríguez-Ceja M.G., Villanueva J., Chávez E. (2017). Historic binnacle of ¹⁴C/¹²C concentration in Mexico City. *Physics Procedia* 90, 2-9.
- Heal, M. R. (2014). The application of carbon-14 analyses to the source apportionment of atmospheric carbonaceous particulate matter: a review, *Analytical & Bioanalytical Chemistry*. 406, 81-98.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (15 de noviembre de 2007). *inecc.org*. Obtenido de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/296/cap2.html>
- INECC. (2017, 25 agosto). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)*. Datos abiertos. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-inegycei>
- Josipovic, M., Leal-Liousse, C., Crobeddu, B., Baeza-Squiban, A., Segakweng, C. K., Galy-Lacaux, C., Beukes, J. P., van Zyl, P. G., & Fourie, G. (2019). Aerosol characterisation including oxidative potential as a proxy of health impact: A case of a residential site in a highly industrialised area. *Clean Air. Journal*. 29, 1-16 doi.org/10.17159/2410-972X/2019//29/2.7517.
- Levin, I., Kromer, B., Schmidt, M., & Sartorius, H. (2003). A novel approach for independent budgeting of fossil fuel CO₂ over Europe by 14CO₂ observations. *Geophysical Research Letters*, 30(23). Marley, N. A.; Gaffney, J. S.; Tackett, M.; Sturchio, N. C.; Heraty, L.; Martinez, N.; Hardy, K. D.; Marchany-Rivera, A.; Guilderson, T.; MacMillan, A. y Steelman, K. (2009) The impact of biogenic carbon sources on aerosol absorption in Mexico City. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 9, 1537-1549.
- Pérez Evangelista, E. R. (2013). Influencia del manejo en el incremento radial de fresno en dos bosques urbanos de la Comarca Lagunera. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria]. <https://1bestlinks.net/jzHwD>
- PROAIRE-Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en el Estado de México. (2018). Gob.mx. Recuperado junio 15 de 2022: <http://proaire.edomex.gob.mx/sites/proaire.edomex.gob.mx/files/files/mis%20pdf/ProAire%202018-2030.pdf>
- Rodríguez, E. (2017). La dendrocronología y el carbono 14. Laboratorio de dendrodatación. Centro de Investigación Forestal, INIA. https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_304_8_10260.pdf
- SEDEMA. *Inventarios de Emisiones de la ZMVM*. Sedema. (2018). México. Disponible en: www.aire.df.gob.mx/default.php?opc=Z6BhnmI=&dc=Zg==
- Solís, C., Chávez-Lomelí, E., Ortiz, M. E., Huerta, A., Andrade, E., & Barrios, E. (2014). A new AMS facility in Mexico. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 331, 233-237.
- Stuiver, M. y Polach, H. 1977. Discussion reporting of ¹⁴C data. *Radiocarbon*, 19, 355-363.
- Szidat, S. (2009). Radiocarbon Analysis of Carbonaceous Aerosols: Recent Developments. *CHIMIA International Journal for Chemistry*, 63, 157-161.
- Szidat, S. (2018). How well can we quantify fossil sources of atmospheric aerosols with ¹⁴C. *VERA Seminar*, (p. v). Austria.
- Zaveri, R.A., Shaw, W.J., Cziczo, D.J., Schmid, B., Ferrare, R.A., Alexander, M.L., Weickmann, A.M., Worsnop, D.R., Yu, X.Y., Zelenyuk, A. y Zhang, Q. (2012). Overview of the 2010 Carbonaceous Aerosols and Radiative Effects Study (CARES). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 7647-7687.

Zhang, X., Pandis, S. N., y Seinfeld, J. H. (2012). Diffusion-Limited Versus Quasi-Equilibrium Aerosol Growth. *Aerosol Science and Technology*, 46, 874–885.