



## Contextos Geocronológicos de Eventos Naturales y Culturales de Uruguay

Germán AZCUNE<sup>1</sup>, Irina Capdepont CAFFA<sup>2,3</sup>,  
Felipe GARCÍA-RODRÍGUEZ<sup>3,4</sup>

**Resumen:** Se relevaron los estudios de cronología realizados en Uruguay, a través del uso de distintas técnicas aplicadas desde mediados de 1970. Estos estudios abarcan la reconstrucción temporal de diversos eventos naturales y culturales, llevados adelante por distintas disciplinas, así como grupos interdisciplinarios. El desarrollo de la geocronología en el territorio nacional se encontró estrechamente relacionado con la investigación arqueológica. En los últimos 20 años se han expandido las fronteras de utilización de técnicas de datación a otras disciplinas científicas, generando de esta forma una mejora en dichas técnicas y la implementación de otras nuevas, fruto del trabajo interdisciplinario. En este sentido, han sido relevados más de 100 trabajos científicos, centrados en diversos tipos de reconstrucción geocronológica. En base a los antecedentes y estudios realizados sobre las técnicas empleadas, se pretende establecer los lineamientos a partir de los cuales generar protocolos para seleccionar la(s) técnica(s) de datación más apropiada(s). Para ello se discutirán, de acuerdo a la procedencia y tipo de muestra (natural o cultural), el rango temporal de estudio y la naturaleza del material (orgánico o inorgánico), así como la resolución temporal de los casos de estudio en cuestión. Este trabajo busca conformar una base de datos que sirva de referencia técnica para las investigaciones que pretenden establecer cronologías entre 500.000 años y el presente, ya que se sistematizan las metodologías de las investigaciones realizadas a nivel país. Asimismo, sirve como insumo y punto de partida para la implementación de un nuevo laboratorio de datación por luminiscencia y  $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ , por parte de los autores, en Uruguay.

**Palabras-claves:** Geocronología, laboratorio de datación, interdisciplinar, Uruguay.

**Abstract** *The chronology studies carried out in Uruguay were reviewed, by assessing use of different techniques applied since the mid-1970s. These studies cover the temporal reconstruction of various natural and cultural events, carried out by different disciplines, as well as interdisciplinary groups. The development of geochronology in the Uruguay was closely related to archaeological research. In the last 20 years the dating techniques were expanded to other scientific disciplines, thus generating an improvement in such techniques and the implementation of new ones, the result of interdisciplinary work. In*

<sup>1</sup>Departamento de Desarrollo Tecnológico, CURE, Udelar

<sup>2</sup>Laboratorio de Estudios del Cuaternario, MEC-UNCIEP

<sup>3</sup>Departamento de Geociencias, CURE-Rocha, Udelar

<sup>4</sup>Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, UFRGS

*this sense, more than 100 scientific works focused on different types of geochronological reconstruction have been analyzed. Based on the background and studies undertaken, we intended to establish the guidelines to generate protocols to select the most appropriate dating technique. For this purpose, taking into account the provenance and type of sample (natural or cultural), the temporal range of study, the nature of the material (organic or inorganic), as well as the temporal resolution, the selection of the most appropriate method will be discussed. The objective of this work is to create a database as a technical reference for research aiming to establish chronologies between 500,000 years and the present, since by systematizing methodologies at the country level. Likewise, it serves as input and starting point for the implementation of a new luminescence dating laboratory and  $^{210}\text{Pb} / ^{137}\text{Cs}$ , by the authors, in Uruguay.*

**Keywords:** Geochronology, dating laboratory, interdisciplinary, Uruguay.

## 1. INTRODUCCIÓN

La percepción del tiempo se apoya en dos conceptos fundamentales, duración o intervalo entre un acontecimiento y otro, y sucesión, que permite distinguir entre diferentes acontecimientos ordenados. La cultura occidental actual percibe el tiempo como algo lineal e irreversible, dividido en fracciones de igual duración, noción que se desprende de la posibilidad de medida del mismo, mediante la mecanización del tiempo (PUENTE N.D.). La geocronología, en este marco, se erige como una herramienta esencial de la ciencia para la generación de conocimiento de eventos históricos, o sucesiones de eventos como criterio de rigurosidad indispensable.

En Uruguay, el desarrollo de la geocronología ocurrió estrechamente relacionado con las investigaciones arqueológicas, en la búsqueda de dar un marco temporal a eventos socio-culturales. En los últimos 20 años se han expandido las fronteras de utilización de técnicas de datación a otras disciplinas científicas, lo que propició la mejora de dichas técnicas y la aplicación de otras nuevas, fruto del trabajo interdisciplinario. En la actualidad,

existen estudios geocronológicos asociados a eventos socio-culturales, así como la variabilidad climática, ecosistémica, e incluso a índices de contaminación ambiental.

En este marco interdisciplinario nace la realización del presente trabajo, contextualizado en la creación de un laboratorio de datación en el Centro Universitario Regional del Este, Universidad de la República, Uruguay. De esta manera, se presentan los resultados de la revisión bibliográfica, donde se enmarca la evolución y situación actual de la geocronología en Uruguay con énfasis en el Período Cuaternario – Era Cenozoica. Se revisan exhaustivamente las técnicas a utilizar en el mencionado laboratorio, Luminiscencia -en sus versiones de Termoluminiscencia (TL) y Luminiscencia Ópticamente Estimulada (OSL)-, y Plomo 210 – Cesio 137 ( $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ ). Se exponen datos actualizados de rangos dinámicos de las técnicas, principales fortalezas y debilidades de cada una, así como pautas clave para lograr cronologías en las mejores condiciones posibles para cada muestra.

La geocronología de sedimentos por Luminiscencia se basa en que algunos cristales (principalmente los de cuarzo y feldespatos, ubicuos en la naturaleza) presentan imperfecciones, que se traducen internamente en trampas donde pueden alojarse electrones y huecos, entre la banda de valencia y la de conducción de los materiales (CHEN y MCKEEVER, 1997). Dichas trampas se cargan de electrones y huecos al exponerse los cristales a radiación ionizante, que naturalmente existen en todo el planeta. Mediante la estimulación adecuada de dichos cristales, estos electrones y huecos pueden recombinarse, dando lugar a la emisión de luz (luminiscencia). Para OSL, en la naturaleza, dicha estimulación (que produce el bleaching o cero) ocurre mediante la irradiación de los cristales con luz solar (siendo más efectiva para el caso del cuarzo que para los feldespatos) (Botter-Jensen et al. 2003). Mediante la medición y cálculo de la radiación ionizante recibida por la muestra (tasa de dosis), así como la medición de la luminiscencia generada por la muestra (que se corresponde a la dosis total recibida, según (A. S. MURRAY & WINTLE, 2003)), se puede calcular el tiempo que la muestra estuvo recibiendo dicha dosis desde su última exposición al sol (tiempo de enterramiento – edad de sedimentación) (DULLER, 2008). Para el caso de TL, el proceso es análogo, siendo el bleaching o cero producido mediante un evento de calentamiento, como ser la cocción de una cerámica, un ladrillo, o la exposición al calor del fuego de un cierto mineral, lo que hace de ésta una técnica utilizada principalmente en arqueología y/o geología (por calentamientos magmáticos).

El  $^{210}\text{Pb}$  es un radionucleido perteneciente a la serie natural del  $^{238}\text{U}$ , con un decaimiento  $\beta^-$  a  $^{210}\text{Bi}$ , de 100% de probabilidad de ocurrencia, con un período de semidesintegración de 22.20 años, y emisión  $\gamma$  de 46.539 keV y probabilidad de ocurrencia 4.25% (SHAMSUZZOHA BASUNIA, 2014). Debido a su período de semidesintegración, éste radionucleido es comúnmente utilizado para realizar cronología de sedimentos recientes (hasta un máximo de aproximadamente 150 años AD) (IVANOVICH & HARMON, 1992). El  $^{137}\text{Cs}$  es un radionucleido de origen antropogénico, producido principalmente por fisión nuclear, con un decaimiento  $\beta^-$  a  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ , con un período de semidesintegración de 30.08 años, que a su vez decae por emisión  $\gamma$  de 661.657 keV de probabilidad de ocurrencia 85.10% (Browne & Tuli, 2007). Este radionucleido permite, si es detectable, confirmar el modelo de edad obtenido mediante el  $^{210}\text{Pb}$ , ya que se encuentra en sedimentos debido al fall out del planeta, originado por las pruebas de bombas y accidentes nucleares (J.-A. SANCHEZ-CABEZA, DÍAZ-ASENCIO, & RUIZ-FERNÁNDEZ, 2012).

## 2. METODOLOGÍA

Para el relevamiento bibliográfico y sistematización de la información se procedió a la búsqueda de documentos, tanto en soporte digital como en soporte físico. Se realizaron búsquedas en la plataforma Scopus, utilizando palabras claves como "Dating", "Geochronology", "Uruguay", "Datación", " $^{210}\text{Pb}$ ", "Geocronología", "Thermoluminescence", "Luminiscence", entre otras. Asimismo, se realizaron búsquedas específicas por autores de referencia en la temática. Las búsquedas efectuadas por este medio

arrojaron aproximadamente 200 trabajos, los que fueron revisados según pertinencia o no a la temática de este artículo. También se procedió a la revisión de bibliografía no indexada en la biblioteca anteriormente citada, mediante la consulta en biblioteca de Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay; así como la consulta de bibliografías específicas relevadas en trabajos anteriores de los autores.

Para la revisión exhaustiva de las técnicas de Luminiscencia y  $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$  se recurrió a bibliografía específica sobre las técnicas, y a la información publicada de las mismas en los últimos 10 años, para abarcar diversos ángulos de su actualización. Se incluyen también datos de cursos específicos realizados por los autores. Para el caso de Luminiscencia, se realizaron también búsquedas bibliográficas específicas por autor, para los autores Murray, Wintle y Roberts, quienes se consideran los creadores del método de dosis regenerativa por alícuota sencilla (SAR por su sigla en inglés), método mayormente utilizado para dataciones mediante OSL en la actualidad (MURRAY y OLLEY 2002). Para el caso de  $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$  la técnica es basada en el libro (SANCHEZ-CABEZA et al. 2012) del Organismo Internacional de Energía Atómica, con las actualizaciones reportadas en bibliografía específica.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Antecedentes

De la síntesis de la información relevada en la bibliografía, sobresale que la producción del conocimiento sobre la temporalidad de los acontecimientos se encuentra estrechamente vinculada al

desarrollo de la Arqueología uruguaya, y especialmente a los resultados obtenidos en el reconocimiento de las estrategias de ocupación humana a nivel espacio-temporal. Por lo tanto, en una primera instancia se sistematizaron los datos existentes sobre el desarrollo de la Arqueología en Uruguay, para la que se definieron cuatro momentos de producción representados por la utilización de conceptos y recursos interpretativos particulares enmarcados en distintos contextos sociales y políticos regionales.

En un primer momento, inicios del siglo XX, esta producción se centró en los lineamientos evolucionistas, en el marco de los cuales se realizaron los primeros intentos de clasificación de la cultura material y los primeros esbozos de esquemas culturales para la región (ARREDONDO 1927, PENINO Y SOLLAZO 1927, FONTANA 1928). Al comenzar el afianzamiento institucional de la disciplina, se define un segundo momento en los estudios sobre el pasado. Los mismos se enmarcan en la corriente difusionista austro-alemana (*Kulturkreise*), cuyo centro de difusión se encontraba en Buenos Aires (CABRERA 1988, LÓPEZ MAZZ 1999), desde donde se difunde la idea que los cambios culturales se explican a través de la difusión, y se centra la atención en las reconstrucciones cronológicas e históricas. En este segundo momento, se realizaron trabajos de síntesis y las primeras periodizaciones basadas en la presencia de alfarería indígena que permitía discriminar "culturas" y "facies", observando la variabilidad como resultado de grupos étnicos diferentes, utilizando criterios de seriación para la definición de unidades culturales (SERRANO 1936, 1972).

Un tercer momento se caracteriza por la fundación hacia 1961 del Centro de Estudios Arqueológicos y Antropológicos Americanos Dr. Paul Rivet, a partir del cual se intensifican cursos y seminarios en la Facultad de Humanidades y Ciencias. La formación del Centro de Estudios Arqueológicos (CEA) promueve trabajos de campo y laboratorio, así como encuentros de Arqueología del Litoral y Congresos Nacionales de Arqueología. A partir de este momento se generan actividades de investigación conjunta con integrantes de la Universidad de la Plata y Río Grande del Sur (CABRERA 1988). El marco conceptual imperante continúa siendo el difusionismo alemán, que gradualmente fue reemplazado por el paradigma histórico-cultural. Este enfoque histórico-cultural toma en Brasil la forma de proyecto nacional oficial (PRONAPA) dando lugar a la definición de fases arqueológicas, tradiciones y sub-tradiciones (BROCHADO *et al.* 1969). Los trabajos generados durante este momento constituyen los antecedentes del desarrollo de la arqueología sistemática en Uruguay (BAEZA *et al.* 1977, BORETTO *et al.* 1973, BORETTO y SCHMITZ 1975, BÓRMIDA 1964, CAMPA y VIDART 1962, TADDEI 1964) donde comienza a considerarse a los restos arqueológicos como medios para comprender a los seres humanos que los fabricaron, usaron y luego desecharon, dejando atrás el considerar a estos restos en sí mismos. El estudio de la antigüedad del hombre en el actual territorio, a partir de este momento llevó a la construcción de modelos temporales de ocupación basados en correlaciones estratigráficas, tipologías de materiales culturales y algunas cronologías  $^{14}\text{C}$ . En este

sentido, los primeros fechados radiocarbónicos son obtenidos por el CEA, a través de la Smithsonian Institution, sobre carbón cultural de dos sitios arqueológicos ubicados en el litoral del río Uruguay (Isla de Arriba e Isla del Medio). Estos primeros fechados se corresponden con niveles estratigráficos que presentan materiales cerámicos, resultando en una cronología de 2400  $^{14}\text{C}$  años AP, para los niveles más tempranos de alfarería (BAEZA 1985) (Tabla 1).

De acuerdo con la renovación teórica y metodológica en las investigaciones arqueológicas, se define un cuarto momento, caracterizado por dos hechos trascendentes que se dan en Uruguay hacia la segunda mitad de la década de 1970. Por un lado, la creación de la Licenciatura en Ciencias Antropológicas en la Facultad de Humanidades y Ciencias, y por otro los trabajos realizados por la Misión de Rescate Arqueológico de Salto Grande patrocinada por la UNESCO (CABRERA 1988, LÓPEZ MAZZ 1999). A partir de este momento, la indagación sobre la antigüedad de los procesos culturales se aborda principalmente desde la aplicación de métodos radiométricos, específicamente  $^{14}\text{C}$  (AUSTRAL 1977, BAEZA 1985, GUIDÓN 1989a, 1989b). Hacia fines del siglo XX y principios del siglo XXI la producción de conocimiento se caracteriza por la influencia que comienza a tener en la región la Nueva Arqueología o Arqueología Procesual (BINFORD 2009, RENFREW y BAHN 1993). El mencionado marco teórico lleva a que las investigaciones comienzan a poner énfasis en las relaciones del hombre con el medio ambiente y a centrarse en el análisis del funcionamiento de los distintos aspectos

de la sociedad en el espacio y en el tiempo. Temporalidad sobre la cual comienza a tenerse más conocimiento dado la mayor utilización de dataciones

por  $^{14}\text{C}$ , facilitando así la interpretación de la variabilidad temporal del registro y obteniendo mejores aproximaciones cronológicas.

Tabla 1. Síntesis de los primeros modelos temporales de ocupación humana (modificado de Capdepon 2013)

Período	Cronologías	Adjudicación a Tradiciones y Entidades arqueológicas	Cultura material	Región con mayor evidencia
Cerámico II	~1.450-250 aAP	Cazadores-Recolectores-Pescadores – Agricultores (Tupiguaraní)	Alfarería decorada	Oeste, Centro y Norte
Cerámico I	~2.500 aAP	Cazadores-Recolectores-Pescadores – Horticultores (Chaná-Timbú)	Alfarería lisa y decorada, instrumentos óseos	Oeste y Centro
Precerámico II	~5000 aAP	Cazadores-Recolectores-Pescadores	Piedras grabadas e instrumentos pulidos	Este, Oeste, Norte y Sur
Precerámico I	Pleistoceno-Holoceno	Paleoindio	Puntas de proyectil líticas	Norte, Centro y Sur

Las investigaciones arqueológicas en los últimos años se han centrado en la realización de trabajos interdisciplinarios, aportando a las reconstrucciones contextuales y conductuales de las diversas ocupaciones humanas registradas en el territorio. Estos trabajos han contribuido a la interpretación integral y holística de los eventos, así como a su contextualización espacio-temporal mediante la aplicación de métodos Geocronológicos. Estos métodos, aplicados sobre materiales naturales (sedimentos, paleosuelos) y culturales (cerámica, suelos antrópicos) han tenido un gran desarrollo en los últimos años, aportando a la comprensión de temas tan complejos como es el estudio de la dinámica cultural y la historia ambiental del Holoceno, permitiendo formular correlaciones entre los procesos naturales y culturales (BRACCO 2006, Bracco et al. 2011, Capdepon et al. 2016, DEL PUERTO et al. 2011, DEL PUERTO et al. 2012, GARCÍA-

RODRÍGUEZ et al. 2010, INDA et al. 2017, LÓPEZ MAZZ 2013).

En una segunda instancia, relacionada con la sistematización de la información referente a los tipos de indicadores temporales, se exploró sobre los materiales naturales y culturales datados y los tipos reconstrucciones realizadas. Asimismo, se prestó atención a los rangos cronológicos obtenidos en las reconstrucciones, y las localidades sobre las que se llevaron adelante las distintas investigaciones arqueológicas, paleontológica y paleoambientales (Tabla 2). Del conjunto de información relevada se destaca que el método de mayor aplicación es el carbono 14 ( $^{14}\text{C}$ ), utilizado principalmente en las reconstrucciones culturales (Figura 1). Asimismo, una gran parte de los datos temporales relacionados con las reconstrucciones ambientales han sido generados en el marco de investigaciones arqueológicas (BRACCO et al. 2011, CAPDEPONT et al. 2016, CASTIÑEIRA et al. 2010, DEL

PUERTO *et al.* 2012, LÓPEZ MAZZ y BRACCO 1994). También se ha podido observar que el sector con mayor cumulo de información temporal, para eventos naturales y culturales, se centra en la región Este de Uruguay, específicamente

en el departamento de Rocha. Ello es consecuencia directa de que la mayor cantidad de investigaciones arqueológicas del territorio se desarrollan en esta región.

Tabla 2. Síntesis de la información relevada en la bibliografía estudiada.

Técnicas de datación	Tipo de reconstrucción	Material datado	Rango Cronológico	Localidad	Referencias
<sup>14</sup> C	Cultural	Carbón y sedimento	3900-3300 AP	Sierra de los Ajos y San Miguel	Bracco 2006, Bracco y Ures 1999, Bracco <i>et al.</i> 2008, López y Bracco 1994
			3600-1900 AP		
		Carbón	2800-340 AP	Bañado de San Miguel y de la India Muerta	López <i>et al.</i> 2009a, López 2013, López <i>et al.</i> 2014
			6500-1500 AP		
			7100-8500 AP	Bañado de los Indios	Suárez <i>et al.</i> 2018
			680-11300 AP	Río Uruguay y Río Cuareim	
			8000-10000 AP	Río Cuareim	Austral 1994, Suárez 2000, 2004, 2009
			1100-2400 AP	Río Uruguay	Baeza <i>et al.</i> 1977, Baeza 1985, Díaz 1977
			4600 AP	Río Uruguay	Guidon 1989a, b
			11200-10400 AP	Río Uruguay	Guidón 1989a, b, Hilbert 1991
			1100-3050 AP	Laguna de Castillos	Capdepont y Pintos 2002, 2006, Pintos 1999
3000 AP	Costa Canelones	Erchini <i>et al.</i> 2015			
2900-11600 AP	Cerro de los Burros	Meneghin 2004, 2006, 2014			
5300-11200 AP	Río Uruguay	Legoupil 1989			

	Cerámica	800 AP	Estuario Río de la Plata Colonia	Baeza 2011
	Carbón y restos humanos	1900-250 AP	Delta del río Negro	Baeza 2005, Castillo 2001, 2004
	Carbón, matriz y moluscos	600-5000 AP	Costa Atlántica	López 1995, 2005, López et al. 2009, Castiñeira et al. 2010
Ambiental	Sedimentos	7310-1020 AP	Laguna Blanca	García-Rodríguez 2002, Inda et al. 2006, del Puerto et al. 2011
		19030 - 2200 AP	Laguna de Rocha	
		4000-5000 AP	Laguna del Diario	
		5000-1000 AP	Laguna Negra	
	Conchilla	45000 AP	Arroyo Malo Tacuarembó	Martínez y Ubilla 2004
	Madera	43000-45000 AP	Río Cuareim Artigas	
		45000 AP	Cañada Sarandí Salto	
		12000 AP	Río Cuareim Artigas	
	Molusco	43000-45000 AP	Norte Uruguay	Martínez y Rojas 2004
	Carbón	43000-45000 AP		Martínez y Ubilla 2004, Ubilla y Perea 1999
	Óseo	18650 AP		Ubilla 1996
		16400 AP		
Ambiental y Cultural	Carbón, matriz y moluscos	1700-4600 AP	Laguna de Castillos	Bracco et al. 2011, Capdepont et al. 2016, del Puerto et al. 2012
Ambiental y faunístico	Molusco	1900-6900 AP cal.	Sur Uruguay	Martínez et al. 2006
Faunístico	Óseo y Madera	30000-28000 AP	Sur Uruguay Vizcaíno	Fariña 2002, Fariña y Castilla 2007, Fariña et al. 2014

		Esmalte dental	17620 AP		Alvarenga et al. 2010
<sup>210</sup> Pb	Ambiental	Sedimento subacuático	1883-2003 dC	Laguna Clotilde Rocha	Inda 2017
			1908-1990 dC	Bahía de Montevideo	Burone et al. 2011
			1730-2010 dC		Bueno et al. 2016
			1919-2008 dC	Cuenca del Río de la Plata	Marrero et al. 2014
			1899 dC	Laguna del Diario Rocha	Inda et al. 2008, del Puerto et al. 2011
			1890-2001 dC	Laguna Blanca Rocha	García-Rodríguez et al. 2002 del Puerto et al. 2011
Luminiscencia	Cultural	Cerámica	1400-1500 dC	Río Uruguay	Capdepon 2013
			1300-1400 dC	Río Uruguay	Farías 2005
			750 dC	Delta del río Negro	
		Sedimentos	11.800-1.040 aP	Río Negro	Nami 2013, Feathers y Nami 2018
	Faunístico	Sedimento	9600 aP	Río Negro	Jones et al. 2018
	Ambiental	Sedimento	43500 aP	Norte Uruguay Arroyo Sopas Salto	Martínez y Ubilla 2004
			58300-200000 aP	Centro de Uruguay Arroyo Malo Tacuarembó	
			180000-360000 aP	Norte Uruguay Río Cuareim Artigas	

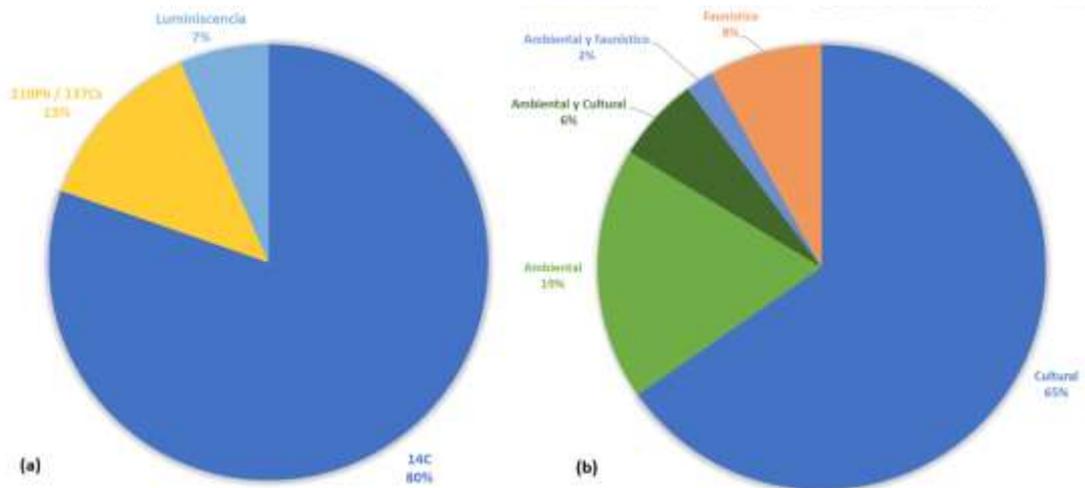


Figura 1. Representación gráfica de las técnicas de datación (a) y los tipos de reconstrucciones realizadas por la técnica <sup>14</sup>C en Uruguay (b).

### 3.2. Técnicas

#### 3.2.1 <sup>210</sup>Pb/<sup>137</sup>Cs

El <sup>210</sup>Pb es un radionucleido perteneciente a la serie natural del <sup>238</sup>U (Figura 2), con un decaimiento β- a <sup>210</sup>Bi, de 100% de probabilidad de ocurrencia, con un período de semidesintegración de 22.20 años, y emisión γ de 46.539 keV y probabilidad de ocurrencia 4.25% (Shamsuzzoha Basunia 2014). Debido a su período de semidesintegración, éste radionucleido es comúnmente utilizado para realizar cronología de sedimentos recientes (hasta un máximo de aproximadamente 150 años) (Ivanovich y Harmon 1992). Procede de la desintegración de <sup>226</sup>Ra, y si bien en sistemas cerrados ambos radionucleidos se encuentran en equilibrio entre ellos (y por ende con todos los radionucleidos intermedios en la cadena), en sistemas abiertos este equilibrio puede romperse debido a la pérdida de <sup>222</sup>Rn, que es gaseoso, a la atmósfera. Una vez en la atmósfera el <sup>210</sup>Pb se asocia con aerosoles, debido a la alta reactividad del Pb, depositándose principalmente por vía húmeda en zonas continentales, y alojándose principalmente en sistemas lénticos por precipitación y escorrentía.

El <sup>210</sup>Pb total del sedimento consta de dos fuentes, el del propio decaimiento del <sup>226</sup>Ra en el sedimento (<sup>210</sup>Pb soportado), y el depositado por precipitación, que es removido de la columna de agua mediante su adsorción en partículas suspendidas, que sedimentarán a posteriori (<sup>210</sup>Pb en exceso) (Crusius y Anderson 1995). Mientras que el <sup>210</sup>Pb soportado se encuentra en equilibrio secular con el <sup>226</sup>Ra, por lo que puede ser considerado independiente del tiempo (Rink y Thompson 2015), el <sup>210</sup>Pb en exceso, estando sujeto a la desintegración radioactiva, permite estimar la fecha de sedimentación mediante la evaluación de su desintegración en función de la profundidad, y, por lo tanto, la tasa de sedimentación anual.

Los principios fundamentales del método fueron propuestos por Goldberg (1963), seguidos de un trabajo de Crozaz et al. (1964), donde los autores examinaron la acumulación histórica de nieve en la Antártida mediante la concentración de <sup>210</sup>Pb en dicha nieve. Poco después, Koide et al. (1972) y Koide et al. (1973) adaptaron la técnica para sedimentos de ambientes marinos, y finalmente Krishnaswamy et al. (1971)

extendió su uso a ambientes lacustres. Hoy día, la mayoría de los trabajos con reconstrucciones de ambientes sedimentarios recientes utilizan esta técnica (Cai et al. 2016; Córdoba et al. 2017; Mil-Homens et al. 2016; Yang et al. 2017).

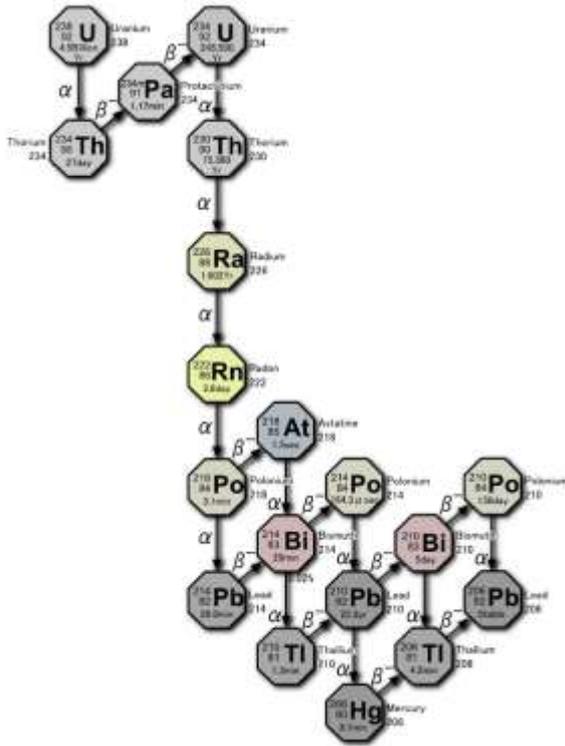


Figura 2. Serie de desintegración natural del  $^{238}\text{U}$  (Licencia Creative Commons -Tosaka 2008).

Pese a ser una técnica ampliamente utilizada, para su aplicación se realizan suposiciones que no siempre pueden ser correctas, lo que limita la aplicación del método. Dichas suposiciones son: a) la sedimentación en el cuerpo de agua es constante o sigue un modelo característico más complejo (Sanchez-Cabeza et al. 2012), y b) no ocurren procesos postdeposicionales al  $^{210}\text{Pb}$  en exceso. Dichas suposiciones pueden llevar a edades certeras si el comportamiento de agua es similar al modelo empleado (Hu et al. 2018), o llevar a errores importantes en caso contrario (Tylmann et al. 2016). Debido a

lo anterior, siempre es recomendable que un modelo de datación por  $^{210}\text{Pb}$  sea validado por un método de datación diferente en por lo menos un punto (Chang et al. 2017).

El  $^{137}\text{Cs}$  es un radionucleido de origen antropogénico, producido principalmente por fisión nuclear, con un decaimiento  $\beta^-$  a  $^{137}\text{Ba}$ , de 100% de probabilidad de ocurrencia, con un período de semidesintegración de 30.08 años, y emisión  $\gamma$  de 661.657 keV y probabilidad de ocurrencia 85.10% (Browne y Tuli 2007). Este radionucleido permite, si es detectable, confirmar el modelo de edad obtenido mediante el  $^{210}\text{Pb}$ , ya que lo encontramos en sedimentos debido al fall out del planeta, originado por las pruebas de bombas y accidentes nucleares (Sanchez-Cabeza et al. 2012).

### 3.3.2 Luminiscencia

#### 3.3.2.1. OSL

La geocronología por Luminiscencia Ópticamente Estimada (OSL) es utilizada principalmente para el fechado de material sedimentario, y se basa en que los cristales de cuarzo y feldspatos, ubicuos en la naturaleza, presentan imperfecciones, que se traducen internamente en trampas donde pueden alojarse electrones y huecos, entre la banda de valencia y la de conducción de los materiales (Chen y McKeever 1997). Dichas trampas se cargan de electrones y huecos al exponerse los cristales a radiación ionizante, que naturalmente encontramos en todo el planeta, y particularmente en los sedimentos. Mediante la estimulación adecuada de dichos cristales, estos electrones y huecos pueden recombinarse, dando lugar a la emisión de luz (luminiscencia).

En la naturaleza, dicha estimulación (que produce el bleaching o cero) se da mediante la irradiación de los cristales con luz solar (siendo más efectiva para el caso del cuarzo que para los feldespatos) (Botter-Jensen et al. 2003). Mediante la medición y cálculo de la radiación ionizante recibida por la muestra (tasa de dosis), así como la medición de la luminiscencia generada por la muestra (que se corresponde a la dosis total recibida, según Murray y Wintle 2003), se puede calcular el tiempo que la muestra estuvo recibiendo dicha dosis desde su última exposición al sol (tiempo de enterramiento – edad de sedimentación) (Duller 2008).

El rango dinámico de esta técnica de datación va desde aproximadamente 10 años hasta algo más de 500.000 años, dependiendo de la radiación ambiental presente en el sitio de enterramiento y de la sensibilidad a la radiación de los cristales que efectúan la captación de dicha radiación, directamente vinculada a la cantidad de sitios de recombinación que contienen. Por lo tanto, a mayor número de sitios de recombinación mayor sensibilidad, y por ende, mayor posibilidad de fechar eventos recientes. Al completar todos los sitios de recombinación, el cristal satura, no pudiendo captar más radiación, de esta manera se obtiene para altas dosis una edad mínima. Típicamente, las tasas de dosis naturales rondan los 1 a 2 Gy cada 1000 años. Para los fechados pueden ser utilizados tamaños de grano desde arena media a limo fino, aunque tamaños de arena media fina (180-250µm) son preferentes, ya que tamaños menores pueden llevar a una subestimación de edades, principalmente para edades mayores a 40.000 años (Timar-Gabor et al., 2017).

Además, si bien tanto feldespatos como cuarzo son posibles de datar, es preferible el uso de cuarzo, ya que su señal luminiscente es estable por más de  $10^8$  años (reduciendo la pérdida de dosis por efecto térmico o fading anómalo con el tiempo, lo que lleva a rejuvenecimiento de las muestras), es más fácilmente llevada a cero su señal al entrar en contacto con la luz solar (disminuyendo los errores por dosis residual, lo que lleva a envejecimiento de las muestras). Si bien los feldespatos pueden presentar los problemas de bleaching incompleto y fading anómalo, los mismos suelen contener mayor dosis por la presencia en los mismos del  $^{40}\text{K}$ , radiactivo, por lo cual pueden ser una buena opción en muestras jóvenes o poco sensibles. Igualmente, hay que tener en cuenta que el problema de bleaching incompleto, que pueden tener ciertas muestras de feldespato (principalmente las movilizadas por ríos y arroyos), puede ser despreciable para muestras de más de 20.000 años (Murray y Olley 2002).

El método mayormente utilizado en la actualidad para dataciones mediante OSL es el método de dosis regenerativa por alícuota sencilla (SAR por su sigla en inglés) (Murray y Olley 2002). Dicho método fue desarrollado por (Murray y Roberts 1998) y luego mejorado por (a. Murray & Wintle, 2000). El mismo logró bajar los niveles de incertidumbre presentados por la técnica hasta aproximadamente un 5% (Murray y Olley 2002).

Dataciones obtenidas mediante OSL han sido contrastadas con otras técnicas, como ser  $^{14}\text{C}$  (Murray y Olley 2002; Trandafir et al. 2015) y tefrocronología (Anechitei-Deacu et al. 2014; Constantin et al. 2012), demostrando que se trata de una técnica

de mayor rango dinámico de aplicación, y aun así, de rangos de incertidumbre comprobables. Además de lo anterior, el poder presentar más de una técnica de datación con fechas de rangos concordantes proporciona al trabajo una mayor validez.

### 3.3.2.2. TL

La geocronología por Termoluminiscencia (TL) se basa en los mismos principios físicos que la geocronología por OSL (Botter-Jensen et al. 2003). La diferencia sustancial entre una y otra técnica es que mientras por OSL el cero o bleaching de la muestra se produce mediante la exposición de la muestra a la luz solar, y su posterior revelado es mediante la iluminación de la muestra, en TL el cero o bleaching es producido por un evento de calentamiento, y su posterior revelado se realiza sometiendo la muestra de manera controlada a temperatura. Por el hecho de tratarse de muestras expuestas a un evento de calentamiento, este método encuentra mayor utilización en el ámbito de la arqueología, donde las piezas cerámicas, así como ladrillos, rocas térmicamente alteradas y tierra quemada, pueden fecharse para obtener el contexto cronológico de dichos materiales, que la mayor parte de las veces son de carácter antrópico.

La termoluminiscencia como método de datación fue propuesta en la década de 1960 (Wintle, 2008), siendo descrita en detalle por Aitken y Mejdahl (1985). Recientemente, el English Heritage publicó una guía precisa en la que se evalúa la aplicabilidad y el potencial actual del método, con ejemplos específicos (Duller, 2008). Con la aparición de la técnica de OSL en 1980 y su creciente evolución, marcada

por el desarrollo del método SAR en el período 1998 – 2003 (Murray y Wintle, 2000, 2003; Murray y Roberts, 1998), la TL ha perdido campo de aplicación. Esto, en conjunto con que las dataciones por TL están relacionadas generalmente a eventos antrópicos, contextos en los cuales podemos encontrar materia orgánica fechable mediante  $^{14}\text{C}$ , de menor error relativo, ha ido en detrimento de su utilización.

Sin embargo, la técnica de TL, debido a su arraigo en la colectividad científico-arqueológica, y su amplio rango dinámico, sigue teniendo gran importancia en estudios de contextos socio-culturales. Debido a esto, se trata del método más utilizado y descrito de los tratados en el presente manuscrito, lo que se ve reflejado en los numerosos trabajos que presentan, a modo de resumen, sus atribuciones principales (Liritzis et al. 2013; Wintle, 2008).

## 4. CONCLUSIONES

De acuerdo con la sistematización de la información existente sobre la situación actual de la Geocronología de Uruguay, remarcamos que: a) el nacimiento de la misma se encuentra estrechamente vinculada a las investigaciones arqueológicas; b) su desarrollo actual se relaciona con un proceso interdisciplinario que influye en la evolución de las técnicas de datación utilizadas hasta el momento y al desarrollo de otras nuevas; c) la metodología mayormente utilizada ha sido la de  $^{14}\text{C}$  evidencia en el 80% del relevamiento bibliográfico; y d) nuevas aplicaciones de las técnicas de datación en un marco de investigación ecológico ambiental han colaborado al desarrollo,

en los últimos años, de otras técnicas como ser  $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$  y luminiscencia.

La técnica de  $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$  permite obtener datos precisos para sedimentos recientes, con un rango dinámico que abarca desde 150 años antes de la fecha de medición hasta la misma. Como contrapartida encontramos que dicha técnica presenta la debilidad de basarse en supuestos, que de no cumplirse darán modelos deposicionales erróneos. Es por ello que se recomienda que los resultados obtenidos mediante esta técnica sean cotejados, por lo menos en un punto, por otras metodologías de datación.

Para el caso de OSL el rango dinámico de aplicación abarca desde aproximadamente 500.000 años anteriores a la fecha de enterramiento del material hasta 10 años antes de la toma de la muestra. La evolución de la metodología utilizada permite disminuir la incertidumbre del método hasta niveles de, aproximadamente, 5% de la edad calculada. Pese al amplio rango dinámico de aplicación que presenta la técnica y que se ha logrado disminuir significativamente la incertidumbre del método, es posible la aparición de uno o más de los siguientes problemas: a. baja sensibilidad de la muestra a la radiación ambiental del sitio de enterramiento; b. que la puesta a cero de las cargas atrapadas sea insuficiente por su exposición insuficiente a la luz entre períodos de enterramientos sucesivos; y c. el supuesto de que la dosis ambiental medida en el suelo circundante se mantuvo constante desde el momento de enterramiento de la muestras. Estos problemas pueden llevar a que una muestra no sea fechable, o que la datación obtenida de la misma no sea correcta.

Por último, la técnica de TL presenta un rango dinámico de aplicación que abarca entre 200.000 años anteriores al momento de calentamiento y enterramiento del material hasta 50 años antes del muestreo. Esta técnica presenta un amplio rango de aplicación, así como la ventaja de obtener en forma directa la edad de un material cultural como la cerámica, al datar el evento térmico. No obstante, la misma presenta como desventaja la posible aparición de uno de los siguientes problemas: a. baja sensibilidad de la muestra a la radiación ambiental del sitio de enterramiento; b. que la puesta en cero de las cargas atrapadas sea insuficiente por haber sido sometidas a un evento de calentamiento de temperatura insuficiente; y c. el supuesto de que la dosis ambiental medida en el suelo circundante se mantuvo constante desde el momento de enterramiento de la muestras, con el agregado de que la muestra luego de haber sido sometida a un evento térmico la mayor parte de las veces no fue inmediatamente sepultada. Esto último daría como resultado de la datación la fecha de enterramiento y no la de fabricación del material, o en su defecto una edad mínima del artefacto.

Si bien la geocronología se ha erigido como una herramienta fundamental para incorporar la variable temporal en diversos campos de investigación, deben contemplarse sus diversas limitaciones. En este sentido, consideramos que es de suma importancia tener un amplio conocimiento del contexto de proveniencia de las muestras a datar, así como sus características particulares, para cumplir con las suposiciones realizadas para la aplicación de cada uno

de los métodos. Asimismo, se recomienda la utilización en conjunto de múltiples herramientas geocronológicas que brindaran confiabilidad y solidez a los resultados obtenidos.

## BIBLIOGRAFÍA

- AITKEN, M. J.; MEJDAHL, V. Thermoluminescence dating, v. 359. Academic Press London. 1985.
- ALVARENGA, H.; JONES, W.; RINDERKNECHT, A. The youngest record of phorusrhacid birds (Aves, Phorusrhacidae) from the late Pleistocene of Uruguay. *Neues Jahrbuch Fur Geologie Und Palaontologie - Abhandlungen*, 256(2):229–234. 2010. Disponible en: <<https://doi.org/10.1127/0077-7749/2010/0052>>. Acceso: 10. mayo. 2018.
- ANECHITEI-DEACU, V.; TIMAR-GABOR, A.; FITZSIMMONS, K. E.; VERES, D.; HAMBACH, U. Multi-method luminescence investigations on quartz grains of different sizes extracted from a loess section in southeast Romania interbedding the campanian ignimbrite ash layer. *Geochronometria*, v. 41, n. 1, p. 1–14. 2014. Disponible en: <<https://doi.org/10.2478/s13386-013-0143-4>>. Acceso: 18.abril.2018
- ARREDONDO, H. Informe preliminar sobre la isla de Vizcaíno, arqueología de la boca del río Negro. *Revista Sociedad Amigos de la Arqueología Tomo I*, p. 7-45. 1927.
- AUSTRAL, A. Arqueología de urgencia en el yacimiento de Bañadero. Departamento de Salto. Uruguay. En Seminario sobre Medio Ambiente y Represas, n. 2, p. 3-20. 1977. Universidad de la República - Facultad de Humanidades y Ciencias, Montevideo.
- AUSTRAL, A. La campaña de 1989 en el sitio Paypaso, Río Quarai, Dpto. Artigas, Rep. Oriental del Uruguay. En: Actas y Memorias del Congreso Nacional de Arqueología Argentina, *Revista del Museo de Historia Natural de San Rafael*, XIV n. 1/4, p. 365. 1994.
- BAEZA, J. Los fechados radiocarbónicos de Salto Grande. En Estado actual de las investigaciones arqueológicas en Uruguay. 1985. Centro de Estudios Arqueológicos, Montevideo.
- BAEZA, J. El poblamiento aborigen. En Río Negro – Historia General de Aníbal Barrios Pintos, Separata I, p. 59-68. 2005. Tradinco, S.A.
- BAEZA, J. Algunas consideraciones sobre la existencia de movimientos isostáticos durante el cuaternario reciente en la costa del Río de La Plata. El caso del departamento de Colonia. En Actas del II Congreso Latinoamericano de Arqueometría, p. 381-390. 2011. Lima – Perú.
- BAEZA, J.; TADDEI, A.; FEMENÍAS, J., RODRÍGUEZ, O.; MELGAR, W.; DÍAZ, A.; FORNARO, M. Investigaciones Arqueológicas en el Área de Salto Grande: Tres Primeros Radiocarbonos. En V Encuentro de Arqueología del Litoral. p. 67-88. 1977. Ministerio de Educación y Cultura e Intendencia Municipal de Río Negro, Uruguay.
- BINFORD, L.R. En busca del Pasado. Descifrando el registro arqueológico, Barcelona, Crítica. 2009.
- BORETTO, R.; BERANAL, R.; SCHMITZ, P.I.; BASILE BECKER, I. Arqueología en el Departamento de Río Negro (R.O. del Uruguay). Esquema tentativo de una secuencia cronológica para sitios del Río Uruguay y Río Negro. En Primer Congreso Nacional de Arqueología - Segundo Encuentro de Arqueología del Interior, coordinado por R. Boretto y R. Bernal, p. 1-16. 1973. Museo Municipal de Historia Natural de Río Negro.
- BORETTO, R.; SCHMITZ, I. Arqueología en el Departamento de Río Negro. Esquema tentativo de una secuencia cronológica para sitios del Río Uruguay y Río Negro. Resultados parciales a diciembre de 1973. En Segundo Congreso Nacional de Arqueología, p. 215-251. 1975. Museo Municipal de Historia Natural de Río Negro, Río Negro.
- BÓRMIDA, M. Las industrias líticas precerámicas del Arroyo Catalán Chico y el Río Cuareim (Departamento de Artigas) República Oriental del Uruguay. *Revista di Scienze Preistoriche*, v. 19, n. 1-4, p. 195-232. 1964.
- BOTTER-JENSEN, L.; MCKEEVER, S. W. S.; WINTLE, A. G. Optically Stimulated Luminescence Dosimetry. ELSEVIER SCIENCE B.V. 2003.

- BRACCO, R., Montículos de la cuenca de la Laguna Merín: tiempo, espacio y sociedad. *Latin American Antiquity*, v. 17, n. 4, p. 511-540. 2006.
- BRACCO, R.; DEL PUERTO, L.; INDA, H.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. Un aporte crítico a partir de "Comentarios sobre Montículos de la Cuenca de la Laguna Merín: Tiempo, Espacio y Sociedad". *Latin American Antiquity* v. 19, n. 3, p. 325-331. 2008.
- BRACCO, R.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, F.; INDA, H.; DEL PUERTO, L.; CASTIÑEIRA, C.; PANARIO, D. Niveles Relativos del Mar durante el Pleistoceno final - Holoceno en la costa del Uruguay. En: F. García-Rodríguez (Comp.) *El Holoceno en la Zona Costera del Uruguay*. UCUR-UdelaR, Montevideo, p. 65- 94. 2011.
- BRACCO, R.; URES, C. Ritmos y dinámicas constructivas de las estructuras monticulares. Sector sur de la cuenca de la laguna Merín, Uruguay. En JM López Mazz y M. Sans (Comp.) *Arqueología y Bioantropología de las Tierras Bajas*. p.13-33. 1999. FHCE, UdelaR.
- BROCHADO, J.P.; SCHMITZ, I.; DIAS, O.JR.; EVANS, C.; PEROTA, C. *Arqueologia Brasileira em 1968: Um relatório preliminar sobre o PRONAPA*. Publicações Avulsas do Museu Paraense Emilio Goeldi, n. 12, p.1-40. 1969.
- BROWNE, E.; TULI, J. K. Nuclear Data Sheets for A = 137. *Nuclear Data Sheets*, v. 108, n. 10, p. 2173–2318. 2007. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.nds.2007.09.002>>. Acceso: 10 mayo 2018.
- BUENO, C.; BRUGNOLI, E.; FIGUEIRA, R.; MUNIZ, P.; FERREIRA, P. A. L.; RODRÍGUEZ, F. G. Historical economic and environmental policies in fluencing trace metal inputs in Montevideo Bay Río de la Plata. *MPB*, p. 6–11. 2016. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.082>>. Acceso: 10 mayo 2018.
- BURONE, L.; MICHAELOVITCH DE MAHIQUES, M.; LOPES FIGUEIRA, R.S.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, F.; SPRECHMANN, P.; ALVAREZ, Y.; MUNIZ, P.; BRUGNOLI, E.; VENTURINI, N.; DE MELLO SOUSA, S.; CENTURION, V. Evolución paleoambiental de la bahía de Montevideo (Uruguay). Bases para el establecimiento de un modelo ambiental. En Felipe García-Rodríguez (Ed.) *El Holoceno en la zona costera de Uruguay*, p.197-227. 2011. Universidad de la Republica, Montevideo.
- CABRERA, L. Panorama retrospectivo y situación actual de la Arqueología uruguaya. Primer Encuentro de Antropología, 1988. Universidad de la República, Montevideo.
- CAI, Y.; WANG, X.; WU, Y.; LI, Y.; YA, M. Over 100-year sedimentary record of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organochlorine compounds (OCs) in the continental shelf of the East China Sea. *Environmental Pollution*. 2016. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.053>>. Acceso: 10 mayo 2018.
- CAMPA, R.; D. VIDART. *El Catalanense*. Una industria de morfología protolítica en el Uruguay. *Amerindia* n. 1, p. 87-100. 1962.
- CAPDEPONT, I. *Arqueología de sociedades indígenas del litoral del río Uruguay*. Paisajes y ocupaciones humanas. PUBLICIA. 2013.
- CAPDEPONT, I.; CASTIÑEIRA, C.; DEL PUERTO, L.; FERNÁNDEZ, G. Desarrollo de las ocupaciones humanas durante el Holoceno en la cuenca de la Laguna de Castillos (Uruguay): síntesis y actualización de las investigaciones arqueológicas. *Tessituras* v. 4, n. 1, p. 53-93. 2016.
- CAPDEPONT, I.; PINTOS, S. Manifestaciones funerarias de los constructores de cerritos: enterramientos humanos en los túmulos de la Laguna de Castillos, Depto. de Rocha, Uruguay. En: Mazzanti, Diana; Berón, Mónica; Oliva, Fernando (Eds.). *Del mar a los salitrales: Diez mil años de historia Pampeana en el umbral del tercer milenio*. Mar del Plata, p. 107-120. 2002.
- CAPDEPONT, I.; PINTOS, S. Manejo y aprovechamiento del medio por parte de los grupos constructores de montículos: Cuenca de la laguna de Castillos, Rocha, Uruguay. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* n. 31, p.117-132. 2006.
- CASTILLO, A. *Arqueología de Río Negro (Uruguay)*. *Revista do CEPA* v. 24, n. 31, p. 71-94. 2001.

- CASTILLO, A. Excavación y Museo: Profundizando en el conocimiento de los grupos ceramistas del litoral (Río Negro-Uruguay). En *La Arqueología Uruguaya ante los desafíos del Nuevo Siglo*, editado por L. Beovide, I. Barreto y C. Curbelo, CD-ROM, ISBN 9974-7811-0-8. 2004. Montevideo.
- CASTIÑEIRA, C.; BRACCO, R.; PANARIO, D.; GUTIERREZ, O. Concheros en la costa atlántica uruguaya y su vinculación con la dinámica regional. En *Arqueología Argentina en los inicios de un nuevo siglo*, p. 633-644. 2010.
- CHANG, Y.; BERELSON, W. M.; LI, H. AMS  $^{14}\text{C}$  and  $^{210}\text{Pb}$  dating on a 51-cm sediment core from Santa Barbara Basin, CA, old carbon source, *Geophysical Research Abstracts* v. 19, n. 3, p. 11308. 2017.
- CHEN, R.; MCKEEVER, S. W. S. Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena. *Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena*. 1997. Disponible en: <<https://doi.org/10.1142/2781>>. Acceso: 20 abril 2018.
- CONSTANTIN, D.; TIMAR-GABOR, A.; VERES, D.; BEGY, R.; COSMA, C. SAR-OSL dating of different grain-sized quartz from a sedimentary section in southern Romania interbedding the Campanian Ignimbrite/Y5 ash layer. *Quaternary Geochronology* n. 10, p. 81–86. 2012. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.quageo.2012.01.012>>. Acceso: 10 mayo 2018.
- CÓRDOBA, F. E.; PIOVANO, E. L.; GUERRA, L.; MULSOW, S.; SYLVESTRE, F.; ZÁRATE, M. Independent time markers validate  $^{210}\text{Pb}$  chronologies for two shallow Argentine lakes in Southern Pampas. *Quaternary International* n. 438, p. 175–186. 2017. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.07.003>>. Acceso: 20 abril 2018.
- CROZAZ, G.; PICCIOTTO, E.; DE BREUCK, W. Antarctic snow chronology with Pb 210. *Journal of Geophysical Research* v. 69, n. 12, p. 2597–2604. 1964. Disponible en: <<https://doi.org/10.1029/JZ069i012p02597>>. Acceso: 10 mayo 2018.
- CRUSIUS, J.; ANDERSON, R. F. Sediment focusing in six small lakes inferred from radionuclide profiles. *Journal of Paleolimnology* v. 13, n. 2, p. 143–155. 1995. Disponible en: <<https://doi.org/10.1007/BF00678103>>. Acceso: 10 mayo 2018.
- DEL PUERTO, L.; GARCÍA RODRÍGUEZ, F.; BRACCO, R.; BLASI, A.; INDA, H.; MAZZEO, N.; RODRÍGUEZ, A. Evolución climática Holocénica para el Sudeste del Uruguay: Análisis Multi-Proxy en Testigos de Lagunas Costeras. En: F. García-Rodríguez (Comp.) *El Holoceno en la Zona Costera del Uruguay*. UCUR-UdelaR, Montevideo, p. 117-154. 2011.
- DEL PUERTO, L.; GARCÍA RODRÍGUEZ, F.; BRACCO, R.; INDA, H.; CAPDEPONT, I.; CASTIÑEIRA, C.; BLASI, A.; FORT, H.; MAZZEO, N. Historia ambiental y dinámica cultural para el Holoceno medio y tardío en el este del Uruguay. En: *En clave inter. Procesos, contextos y resultados del trabajo interdisciplinario*, p. 99-109. 2012. Espacio Interdisciplinario, Universidad de la República, Montevideo.
- DÍAZ, A. Arqueología de Salto Grande: secuencia cultural resultante de las investigaciones realizadas en la Isla de Arriba y del Medio (Uruguay). En *V Encuentro de Arqueología del Litoral*, p. 155-164. 1977. Ministerio de Educación y Cultura e Intendencia Municipal de Río Negro, Uruguay
- DULLER, G. A. T. Luminescence Dating: guidelines using luminescence dating in archaeology. *English heritage*. 2008.
- ERCHINI, C.; FERRARI, A.; TOBELLA, M.; SOSA, M. Looking at the sea: Mt Site, River Plate Coast, Canelones, Uruguay. *Quaternary International* n. 373, p. 34–44. 2015. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.02.029>>. Acceso: 10 mayo 2018.
- FARIAS GLUCHY, M.E. El guaraní arqueológico meridional: entre el axioma y la heterodoxia. Tesis Doctoral, 2005. PUCRS. Río Grande del Sur.
- FARIÑA, R. Taphonomy and Palaeoecology of the South American giant mammals. En *Current Topics in Taphonomy and Fossilization*, Renzi M, Pardo A., Belinchón M., Peñalver E., Montoya P., Márquez-Aliaga A. (Eds.), p. 97-113. 2002. Valencia.
- FARIÑA, R.; CASTILLA, R. Earliest evidence for human-megafauna interaction in the

- Americas. – In: Corona, M.E. y Arroyo-Cabrales, J. (Eds.), Human and Faunal Relationships Reviewed: An Archaeozoological Approach. BAR 1627, p.31-33. 2007.
- FARIÑA, R.; TAMBUSO, S.; VARELA, L.; CZERWONOGORA, A.; DI GIACOMO, A.; MUSSO, M.; BRACCO, R.; GASCUE, A. Arroyo del Vizcaíno, Uruguay: a fossil-rich 30-ka-old megafaunal locality with cut-marked bones. Proc. R. Soc. B n. 281, p. 2013-2211. 2014. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.2211>>. Acceso: 21 abril 2018.
- FONTANA COMPANY, M. Etnografía Uruguay. Informe sobre la exploración de un túmulo indígena en Punta Chaparro (Colonia – Río Uruguay). Revista de la Sociedad Amigos de la Arqueología II, p. 331-349. 1928.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. Estudio paleolimnológico de lagunas de Rocha, Castillos y Blanca, sudeste del Uruguay. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias-PEDECIBA Biología, p. 176. 2002. Universidad de la Republica. Montevideo.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, F.; STUTZ, S.; INDA, H.; DEL PUERTO, L.; BRACCO, R.; PANARIO, D. A multiproxy approach to infer Holocene paleobotanical changes linked to sea-level variation, paleosalinity levels and shallow lake alternative states in Negra Lagoon, SE Uruguay. Hydrobiologia v. 646, n. 1, p. 5-20. 2010.
- GARCÍA-RODRÍGUEZ, F.; MAZZEO, N.; SPRECHMANN, P.; METZELTIN, D.; SOSA, F.; TREUTLER, H.C.; RENOM, M.; SCHARF, B.; GAUCHER, C. Paleolimnological assessment of human impacts in Lake Blanca, SE Uruguay. Journal of Paleolimnology n. 28, p. 457–468. 2002.
- GUIDÓN, N. Los sitios de las islas. El sitio Y58. En Misión de Rescate Arqueológico de Salto Grande, Tomo II, n. 1, p. 433-572, 1989a. Ministerio de Educación y Cultura, Montevideo.
- GUIDÓN, N. Conclusión general del sitio. En Misión de Rescate Arqueológico de Salto Grande, Tomo II, n. 1, pp. 232, 1989b. Ministerio de Educación y Cultura, Montevideo.
- GOLDBERG, E. D. Geochronology with  $^{210}\text{Pb}$ . In: IAEA (ed.), Symposium on Radioactive Dating. International Association of Hydrological Sciences Publication, Vienna, Austria, p. 122–130. 1963.
- HILBERT, K. Aspectos de la Arqueología en el Uruguay. Mainz am Rhein: von Zabern, Materialien zur allgemeinen und vergleichenden Archäologie 44, 1991. ALEMANIA.
- HU, G.; YI, C.; ZHANG, J.; CAO, G.; PAN, B.; LIU, J.; JIANG, T.; YI, S.; LI, D.; HUANG, J. Chronology of a lacustrine core from Lake Lingko Co using a combination of OSL,  $^{14}\text{C}$  and  $^{210}\text{Pb}$  dating: implications for the dating of lacustrine sediments from the Tibetan Plateau. Boreas 47, n. 2, p. 656–670. 2018. Disponible en: <<https://doi.org/10.1111/bor.12291>>. Acceso: 20 abril 2018.
- INDA, H. El Antropoceno en el sudeste del Uruguay: causas, indicadores y consecuencias. Tesis doctoral, facultad de Ciencias -PEDECIBA, Biología, 2017. Universidad de la República, Montevideo.
- INDA, H.; DEL PUERTO, L.; CAPDEPONT, I.; BRACCO, R. Formation processes of coastal archaeological sites: A changing prehistoric scenario on the Atlantic shore of Uruguay. Geoarchaeology, p. 1–13, 2017.
- INDA, H.; GARCIA-RODRIGUEZ, F.; DEL PUERTO, L.; ACEVEDO, V.; METZELTIN, D.; CASTINEIRA, C.; BRACCO, R. Y ADAMS, J. B. relationships between trophic state, paleosalinity and climatic changes during the first Holocene marine transgression in Rocha Lagoon, southern Uruguay. Journal of Paleolimnology 35, p. 699-713. 2006.
- INDA, H.; GARCIA-RODRIGUEZ, F.; DEL PUERTO, L.; MAZZEO, N.; LOTTER, A.; BRACCO, R.; IGLESIAS, C.; FOSALBA, C.; STUTZ, S.; LOPES, R.; BURONE, L. Y MICHAEOLOVITCH, M. Holocene palaeoenvironmental reconstruction and recent human impact in Laguna del Diarrio, SE Uruguay. In Book of Abstracts: Structure and function of world shallow lakes, p. 77. 2008. Punta del Este, Maldonado.
- IVANOVICH, M.; HARMON, R. S. Uranium-series disequilibrium: applications to earth, marine, and environmental sciences. Clarendon Press. 1992.

- Disponibile en: [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:25066379](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:25066379). Acceso: 10. mayo. 2018.
- JONES, W.; RINDERKNECHT, A.; ALVARENGA, H.; MONTENEGRO, F.; UBILLA, M. The last terror birds (Aves, Phorusrhacidae): new evidence from the late Pleistocene of Uruguay. *PalZ* v. 92, n. 2, p. 365–372. 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12542-017-0388-y>. Acceso: 21 abril 2018.
- KOIDE, M.; BRULAND, K. W.; GOLDBERG, E. D. Th-228/Th-232 and Pb-210 geochronologies in marine and lake sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* v. 37, n. 5, p. 1171–1187. 1973. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(73\)90054-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(73)90054-9). Acceso: 10. mayo. 2018.
- KOIDE, M.; SOUTAR, A.; GOLDBERG, E. D. Marine geochronology with <sup>210</sup>Pb. *Earth and Planetary Science Letters* v. 14, n. 3, p. 442–446. 1972. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(72\)90146-X](https://doi.org/10.1016/0012-821X(72)90146-X). Acceso: 10 mayo 2018.
- KRISHNASWAMY, S.; LAL, D.; MARTIN, J. M.; MEYBECK, M. Geochronology of lake sediments. *Earth and Planetary Science Letters* v. 11, n. 1–5, p. 407–414. 1971. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(71\)90202-0](https://doi.org/10.1016/0012-821X(71)90202-0). Acceso: 21 abril 2018.
- LEGOUPIL, D. Excavación IX-77. En: *Misión de Rescate Arqueológico de Salto Grande*, Tomo II, n. 1, p. 452-468. 1989. Ministerio de Educación y Cultura, Montevideo.
- LIRITZIS, I.; SINGHVI, A. K.; FEATHERS, J. K.; WAGNER, G. A.; KADEREIT, A.; ZACHARIAS, N.; LI, S.-H. Luminescence Dating in Archaeology, Anthropology, and Geoarchaeology. 2013. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-00170-8>. Acceso: 10 mayo 2018.
- LÓPEZ MAZZ, J.M. El Fósil que no Guía, y la Formación de los Sitios Costeros. En *Arqueología en el Uruguay*, editado por M. Consens, J.M. López Mazz y C. Curbelo, p. 92-105. 1995. Surcos srl, Montevideo
- LÓPEZ MAZZ, J.M. Some aspects of the French influence upon Uruguayan and Brazilian archaeology. En *Archaeology in Latin America*, editado por Gustavo G. Politis and Benjamin Alberti, p. 36-56. 1999. Routledge, Londres.
- LÓPEZ MAZZ, J.M. Early human occupation of Uruguay. *Radiocarbon database and archaeological implications*. *Quaternary International* n. 301, p. 94-103. 2013.
- LÓPEZ MAZZ, J.M.; R. BRACCO. Cazadores-Recolectores de la Cuenca de la laguna Merín: aproximaciones teóricas y modelos arqueológicos. En JL Lanata y L. Borrero (Eds) *Arqueología de Cazadores-Recolectores, Límites, Casos y Aperturas*, p. 51-64. 1994. *Arqueología Contemporánea. Edición Especial*, Buenos Aires.
- LÓPEZ MAZZ, J.M.; GASCUE, A.; MORENO, F. Arqueología de los cerritos costeros en el sitio Estancia la pedrera. En: JM. Lopez Mazz y A. Gascue (Comp.) *Arqueología prehistórica uruguaya en el siglo XXI*, p. 67-84. 2009a. Biblioteca Nacional y Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad de la Republica.
- LÓPEZ MAZZ, J.M.; MORENO, F.; VILLARMARZO, E.; GASCUE, A. Apuntes para una arqueología costera y del cabo Polonio En: JM. Lopez Mazz y A. Gascue (Comp.) *Arqueología prehistórica uruguaya en el siglo XXI*, p. 39-66. 2009. Biblioteca Nacional y Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad de la Republica.
- LÓPEZ MAZZ, J.M.; SOTELO, M.; MAROZZI, O.; AGUIRREZÁBAL, D. Tecnología lítica en Holoceno temprano del Este de Uruguay. *Revista de ARQUEOLOGÍA* v. 27, n. 2, p. 170-179. 2014.
- MARRERO, A.; TUDURÍ, A.; PÉREZ, L.; CUÑA, C.; MUNIZ, P.; LOPES FIGUEIRA, R.; MICHAELOVITCH DE MAHIQUES, M.; ALVES DE LIMA FERREIRA, P.; PITTA UEROVÁ, D.; HANEBUTH, T.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. Cambios históricos en el aporte terrígeno de la cuenca del Río de la Plata sobre la plataforma interna uruguaya. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* v. 21, n. 2, p. 165-179. 2014.
- MARTÍNEZ, S.; ROJAS, A.; UBILLA, M.; VERDE, M.; PEREA, D.; PIÑEIRO, G.

- Molluscan assemblages from the marine Holocene of Uruguay: Composition, geochronology, and paleoenvironmental signals. *Ameghiniana* v. 43, n. 2, p. 385–398. 2006.
- MARTÍNEZ, S.; UBILLA, M. El Cuaternario en el Uruguay. En: *Cuencas Sedimentarias del Uruguay: Geología, paleontología y recursos naturales. Cenozoico*. Veroslacky, G., Ubilla, M. y S. Martínez (Eds.), DIRAC, p.195-227. 2004.
- MENEGHIN, U. URUPEZ Primeros registro radiocarbónicos (C-14) para un yacimiento con puntas líticas pisciformes del Uruguay. *ORIGENES* n. 2, p. 1-31. 2004. Fundación Arqueología Uruguay.
- MENEGHIN, U. Un nuevo registro radiocarbónico (C-14) en el yacimiento URUPEZ II, Maldonado, Uruguay. *ORIGENES* n. 5, p. 1-7. 2006. Fundación Arqueología Uruguay.
- MENEGHIN, U. Informe preliminar de la segunda campaña de excavaciones de URUPEZ II (Depto. De Maldonado, Uruguay) *ORIGENES* n. 12, p. 1-25. 2014. Fundación Arqueología Uruguay.
- MIL-HOMENS, M.; VICENTE, M.; GRIMALT, J. O.; MICAEL, C.; ABRANTES, F. Reconstruction of organochlorine compound inputs in the Tagus Prodelta. *Science of The Total Environment* n. 540, p. 231–240. 2016. Disponible en: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.009>. Acceso: 21 abril 2018.
- MURRAY, A.; WINTLE, A. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurement* n. 32, p. 57–73. 2000. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s1350-4487\(99\)00253-x](https://doi.org/10.1016/s1350-4487(99)00253-x). Acceso: 10 mayo 2018.
- MURRAY, A. S.; OLLEY, J. M. Precision and accuracy in the optically stimulated luminescence dating of sedimentary quartz: A status review. *Geochronometria* n. 21, p.1–16. 2002. Disponible en: [http://www.geochronometria.pl/geo\\_21.html](http://www.geochronometria.pl/geo_21.html). Acceso: 20 abril 2018.
- MURRAY, A. S.; ROBERTS, R. G. Measurement of the equivalent dose in quartz using a regenerative-dose single-aliquot protocol. *Radiation Measurements* v. 29, n. 5, p. 503–515. 1998. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(98\)00044-4](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(98)00044-4). Acceso: 10 mayo 2018.
- MURRAY, A. S.; WINTLE, A. G. The single aliquot regenerative dose protocol: Potential for improvements in reliability. In *Radiation Measurements* n. 37, p. 377–381. 2003. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(03\)00053-2](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(03)00053-2). Acceso: 10 mayo 2018.
- PENINO, R. Y A. SOLLAZO. 1927. El paradero charrúa del puerto de Las Tunas y su alfarería. *Revista Sociedad de Amigos de la Arqueología*. Tomo 1:151 - 160.
- PINTOS, S. Túmulos, caciques y otras historias. Cazadores recolectores complejos en la cuenca de la Laguna de Castillos, Uruguay. *Rev. Complutum* n. 10, p. 213-226. 1999.
- PUENTE, I. La historia de la medición del tiempo y la noción de tiempo. (n.d.).
- RENFREW, C.; BAHN, P. *Arqueología: teorías, métodos y práctica*. Madrid, Akal. 1993.
- RINK, W. J.; THOMPSON, J. W. (Eds.). *Encyclopedia of Scientific Dating Methods*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer. 2015.
- SANCHEZ-CABEZA, J.A.; DÍAZ-ASENCIO, M.; RUIZ-FERNÁNDEZ, A.C. *Radiocronología de Sedimentos Costeros Utilizando <sup>210</sup>Pb: Modelos, Validación y Aplicaciones*. Organismo Internacional de Energía Atómica, Centro Internacional de Viena. 2012.
- SERRANO, A. *Etnografía de la Antigua Provincia del Uruguay*. Talleres Gráficos Paraná. 1936.
- SERRANO, A. *Líneas fundamentales de la Arqueología del Litoral - una tentativa de periodización*. Dirección General de Publicaciones, Córdoba, Argentina. 1972.
- SHAMSUZZOHA BASUNIA, M. Nuclear Data Sheets for A = 210. *Nuclear DATA SHEETS* n. 121, p. 561–694. 2014. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.nds.2014.09.004>. Acceso: 20 abril 2018.
- SUÁREZ, R. Paleoindian occupations in Uruguay. *Current Research in the Pleistocene* n. 17, p. 78-80. 2000.

- SUÁREZ, R. La arqueología de los primeros americanos en Uruguay. Componentes paleoindios de los Ríos Uruguay – Cuereim y asociación entre cazadores humanos y fauna pleistocena en el sitio Pay Paso 1. En: La Arqueología ante los desafíos del nuevo siglo, Beovide, L.; Curbelo, C. y I. Barreto (Eds), Cd ISBN: 9974-7811-08, Montevideo, 41p. 2004.
- SUÁREZ, R. Arqueología durante la transición Plesitoceno-Holoceno: componentes paleoindios, organización de la tecnología lítica y movilidad de los primeros americanos en Uruguay. Tesis Doctoral. 2009. Universidad Nacional de la Plata, La Plata
- SUAREZ, R.; PIÑEIRO, G.; BARCELO, F. Living on the river edge: The Tigre site (K-87) new data and implications for the initial colonization of the Uruguay river basin. *Quaternary International* n. 473, p. 242-260. 2018.
- TADDEI, A. Un yacimiento Prececerámico en el Uruguay. *Baessler - Archiv. Neue Folge Band* n. 12, p. 317-372. 1964. Verlag Von Dietrich Reimer, Berlín.
- TIMAR-GABOR, A.; BUYLAERT, J. P.; GURALNIK, B.; TRANDAFIR-ANTOHI, O.; CONSTANTIN, D.; ANECHITEI-DEACU, V.; JAIN, M.; MURRAY, A. S.; PORAT, N.; HAO, Q.; WINTLE, A. G. On the importance of grain size in luminescence dating using quartz. *Radiation Measurements* n. 106, p. 464–471. 2017. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2017.01.009>>. Acceso: 10 mayo 2018.
- TRANDAFIR, O.; TIMAR-GABOR, A.; SCHMIDT, C.; VERES, D.; ANGHELINU, M.; HAMBACH, U.; SIMON, S. OSL dating of fine and coarse quartz from a Palaeolithic sequence on the Bistrita Valley (Northeastern Romania). *Quaternary Geochronology* n. 30, p. 487–492. 2015. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.quageo.2014.12.005>>. Acceso: 10 mayo 2018.
- TYLMANN, W.; BONK, A.; GOSLAR, T.; WULF, S.; GROSJEAN, M. Calibrating  $^{210}\text{Pb}$  dating results with varve chronology and independent chronostratigraphic markers: Problems and implications. *Quaternary Geochronology* n. 32, p. 1–10. 2016. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.quageo.2015.11.004>>. Acceso: 21 abril 2018.
- UBILLA, M. Paleozoología del cuaternario continental de la cuenca norte del Uruguay: Biogeografía, cronología y aspectos climático – ambientales. Tesis Doctoral, PEDECIBA-Biología, 1996. Facultad de Ciencias, Montevideo.
- UBILLA, M.; PEREA, D. Quaternary vertebrates of Uruguay: biostratigraphic, biogeographic and climatic overview. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* n. 12, p. 75-90. 1999.
- WINTLE, A. G. Fifty years of luminescence dating. *Archaeometry* v. 50, n. 2, p. 276–312. 2008. Disponible en: <<https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2008.00392.x>>. Acceso: 10 mayo.2018.
- YANG, R.; XIE, T.; YANG, H.; TURNER, S.; WU, G. Historical trends of organochlorine pesticides (OCPs) recorded in sediments across the Tibetan Plateau. *Environmental Geochemistry and Health*. 2017. Disponible en: <<https://doi.org/10.1007/s10653-017-9908-7>>. Acceso: 20. abril.2018.