



# Carbono 14



**CMM Edu**  
Laboratorio de Educación  
Centro de Modelamiento  
Matemático



# Momias chinchorro

Revisemos la infografía de la situación



*\*Imagen referencial de la situación*

# MOMIAS CHINCHORRO

LAS MÁS ANTIGUAS DEL MUNDO Y PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD

Los asentamientos Chinchorro, junto a sus momias, **fueron declarados:**

## PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD

**POR LA UNESCO.**



La cultura Chinchorro, de cazadores y recolectores marinos, se ubicó en el litoral del desierto de Atacama.



Cultura que poseía un sofisticado sistema de momificación, **mucho más antiguo que las momias del antiguo Egipto.**



## LOS SISTEMAS DE MOMIFICACIÓN ARTIFICIAL DE LOS CHINCHORROS, ERAN DIVERSOS Y MUY ELABORADOS.



**Momificación natural**

Presentes en las etapas tempranas y tardías.



**Momia negra**

Esqueleto cubierto de una capa de manganeso.



**Momia roja**

Eviscerada, rellena de yeso y pintada con ocre rojo.



**Momia con vendaje**

Su piel fue repuesta en forma de vendaje.



**Momia con pátina de barro**

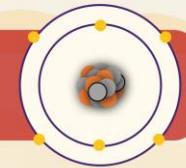
Cuerpo desecado cubierto con una capa de barro.



# ¿CÓMO SE SABE QUE SON LAS MÁS ANTIGUAS?



Gracias al fechado con radiocarbono o datación con carbono 14 (C-14).



- El C-14 se forma natural en la atmósfera a partir del Nitrógeno (N) excitado por rayos cósmicos.
- Se mantiene un porcentaje estable de C-14 en la atmósfera.
- Las plantas absorben C-14 en la fotosíntesis.
- A través de la cadena alimenticia, se propaga a toda la materia viviente, en aproximadamente las mismas proporciones.
- Al morir, cesa la absorción de C-14, este decae volviéndose nuevamente N.
- Al medir el C-14 después de la muerte, es posible estimar la antigüedad de cualquier organismo.

# Reflexionemos

- ¿Conocías las momias Chinchorro?
- ¿En qué lugar se ubicaba esta cultura?
- ¿Cómo se puede estimar la antigüedad de una momia?
- ¿Qué es la datación de Carbono 14?



# Carbono 14

- Las momias Chinchorro son las más antiguas que se han descubierto hasta hoy.
- La cultura Chinchorro y gran parte de sus asentamientos y vestigios están en el norte del país.
- La antigüedad de una momia o de cualquier ser vivo puede ser estimada a partir de la cantidad de átomos de Carbono 14.



# Carbono 14

- El Carbono 14 se absorbe en los organismos durante su vida y, al morir, la cantidad de átomos de C-14 en una muestra orgánica empieza a disminuir.
- Supondremos que la concentración de C-14 en el ambiente ha sido constante en los últimos 50.000 años y que los seres vivos mantienen la misma proporción de C-14 en sus tejidos.

# Carbono 14

- El C-14 tiene un **período de semidesintegración** de 5.730 años, lo que significa que después de este tiempo, en el organismo quedará la mitad de los átomos de C-14 que estaban presentes al momento de su muerte.
- La datación por C-14 es precisa para objetos que tienen menos de 50.000 años. Después de ese período, la cantidad residual de C-14 en los organismos es tan pequeña que se vuelve difícil de medir con precisión.

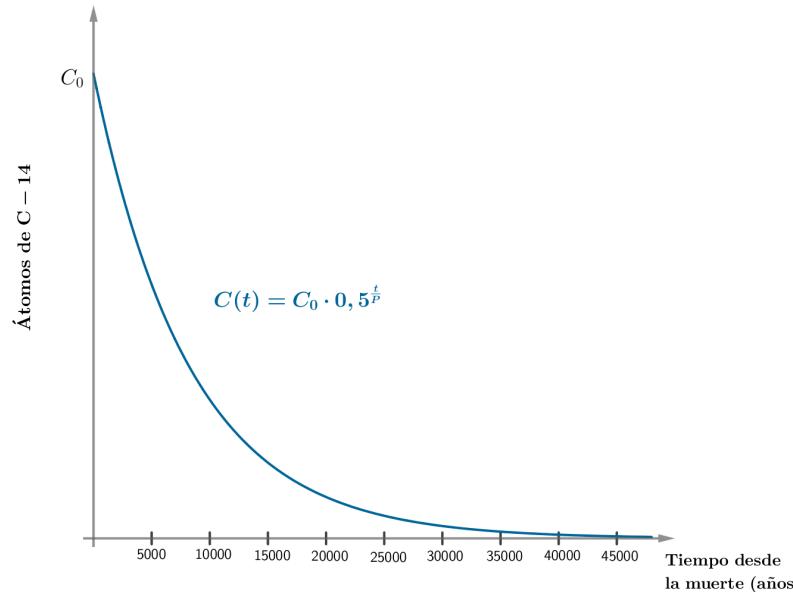
# Presentación del problema

¿Cuál es la antigüedad de las momias Chinchorro y cómo podemos determinarla?



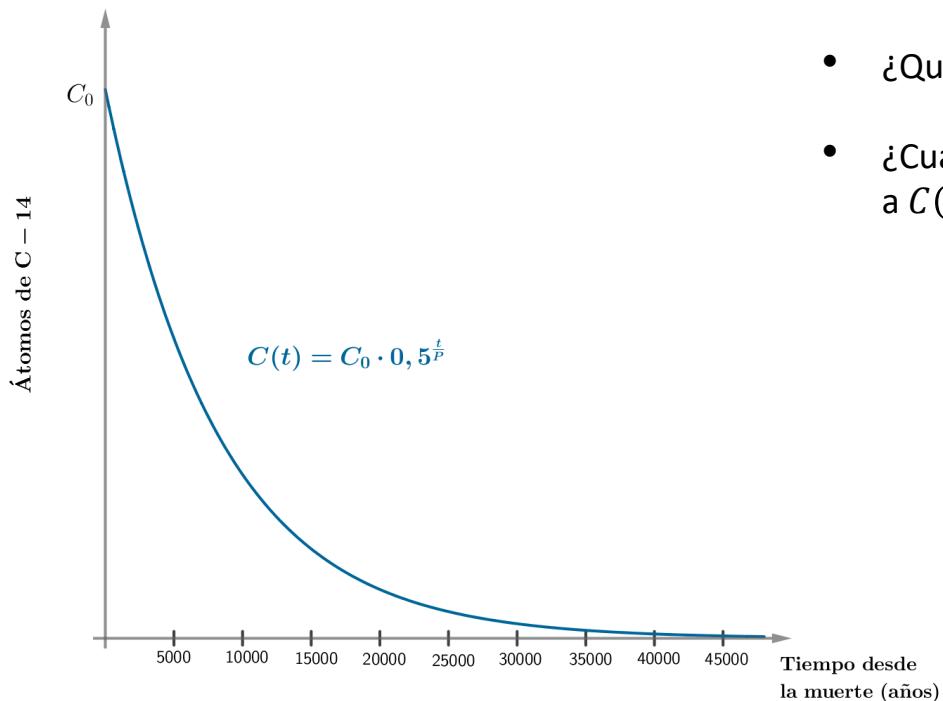
# Presentación del problema

Para abordar este problema usaremos un modelo matemático, que relaciona la cantidad de átomos de carbono 14 en el organismo con el tiempo transcurrido desde su muerte.



- La constante  $C_0$  corresponde a la cantidad de átomos de C-14 que tiene un organismo al momento de su muerte.
- La constante  $P$  corresponde al período de semidesintegración del C-14, que se estima en 5.730 años.

# Comprendiendo el modelo

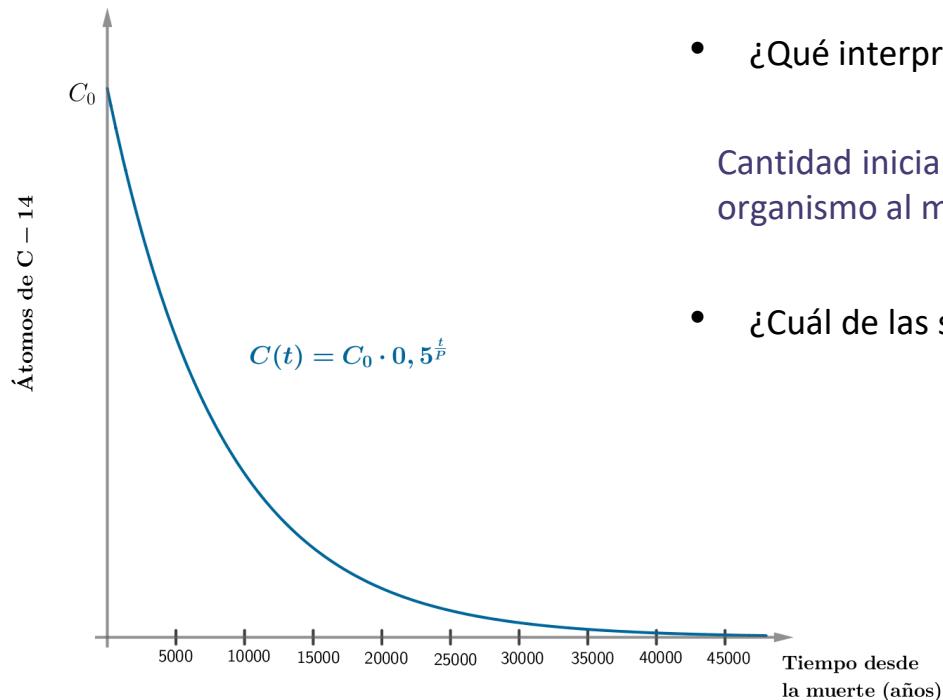


- ¿Qué interpretación tiene el valor de  $C(0) = C_0$ ?
- ¿Cuál de las siguientes expresiones corresponde a  $C(P)$ ?

a)  $C_0$   
 b)  $\frac{C_0}{2}$   
 c) 5730  
 d)  $\frac{5730}{2}$

# Comprendiendo el modelo

## Respuestas



- ¿Qué interpretación tiene el valor de  $C(0) = C_0$ ?

Cantidad inicial de átomos de C-14 de una muestra de un organismo al momento de su muerte.

- ¿Cuál de las siguientes expresiones corresponde a  $C(P)$ ?

$$C(P) = C_0 \cdot 0,5^{\frac{P}{P}}$$

$$C(P) = C_0 \cdot 0,5^1$$

$$C(P) = \frac{C_0}{2}$$

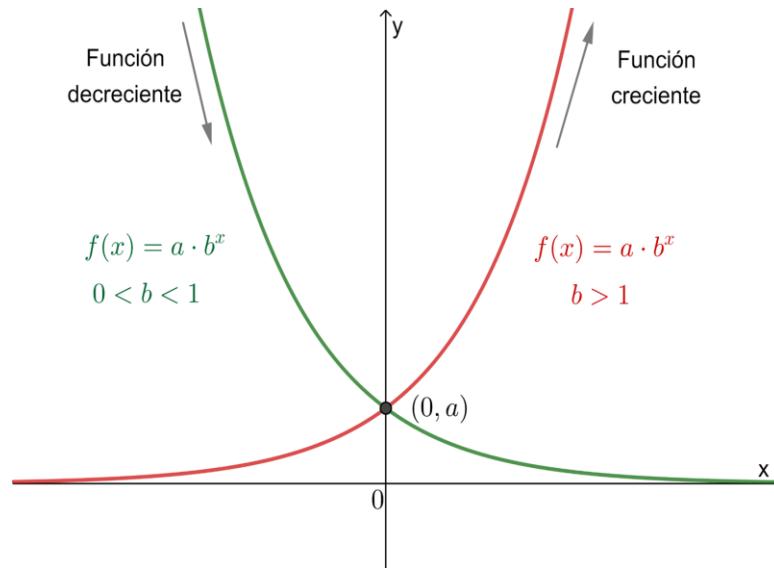
## Actividad 1

1. Considera la función  $C(t) = C_0 \cdot 0,5^{\frac{t}{P}}$  para responder las siguientes preguntas:
  - a. ¿A qué tipo de función corresponde este modelo? (cuadrática, exponencial, logarítmica).
  - b. ¿Es una función creciente o decreciente? Justifica.

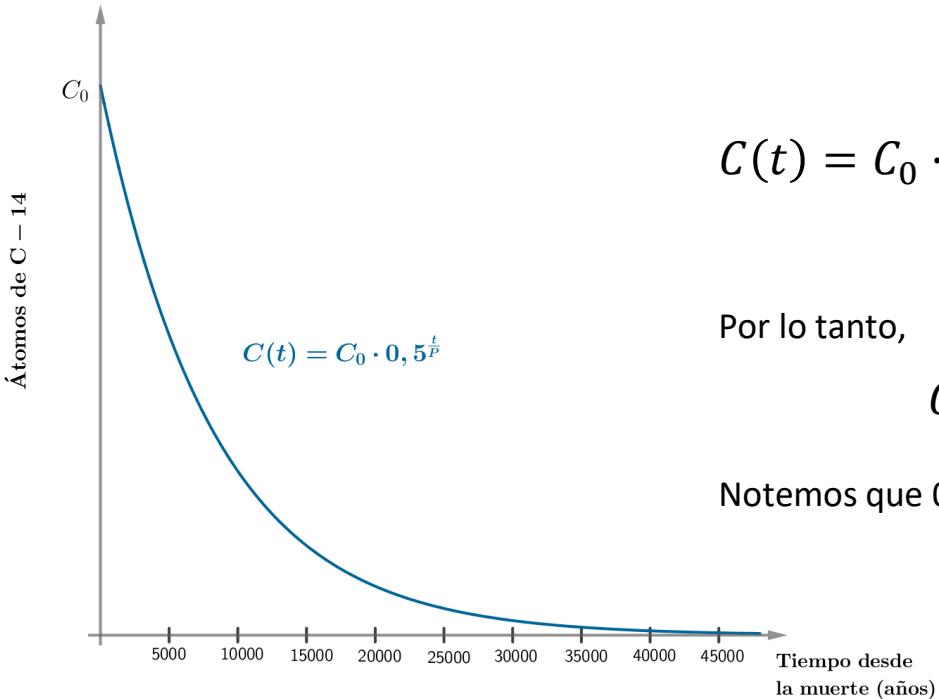
# Recuerdo

## Funciones exponenciales

Recuerde a sus estudiantes que las funciones exponenciales son aquellas que pueden ser representadas de la forma  $f(x) = a \cdot b^x$ , donde  $b > 0$  y  $b \neq 1$ . El número  $b$  se conoce como base.



# ¿Cuál es la base de la función $C(t)$ ?



$$C(t) = C_0 \cdot 0,5^{\frac{t}{P}} = C_0 \cdot 0,5^{\frac{1}{P} \cdot t} = C_0 \cdot \underbrace{\left[0,5^{\frac{1}{P}}\right]}_{\text{base } b}^t$$

Por lo tanto,

$$C(t) = C_0 \cdot b^t, \text{ con } b = \left[0,5^{\frac{1}{P}}\right]$$

Notemos que  $0 < b < 1$  y por tanto  $C(t)$  es una **función decreciente**.

# Actividad 1

1. La siguiente tabla muestra la variación de la cantidad de C-14 en una muestra orgánica:

Cantidad de átomos de C-14	Tiempo desde la muerte (en años)
40.000	0
20.000	5.730
	11.460
5.000	

- ¿Cuál es valor de la constante  $C_0$ ?
- Completa los datos faltantes en la tabla, recordando que el período de semidesintegración indica que cada 5730 años, la cantidad de átomos de C-14 se reduce a la mitad.
- ¿Cuántos años demora el C-14 en reducirse de 8000 a 4000 átomos?

# Actividad 1

## Respuestas

a) La constante  $C_0$  es igual a 40000, ya que corresponde a la cantidad de átomos de C-14 que hay en los restos orgánicos al momento de la muerte.

b) Dado que el período de semidesintegración es igual 5730 años, cada vez que pase este tiempo **se reduce a la mitad la cantidad de átomos de C-14**, es decir, al pasar 5730 años, quedarán 20000 átomos, como se ve en la tabla inicialmente. Luego, cuando pasen 5730 años más, quedarán 10000 átomos de C-14, y así sucesivamente. Entonces, la tabla con los valores faltantes queda de la siguiente manera (imagen a la derecha)

c) De 8000 a 4000 átomos, el C-14 se reduce a la mitad lo que corresponde a 1 período de semidesintegración, es decir, 5730 años.

Cantidad de átomos de C-14	Tiempo desde la muerte (en años)
40.000	0
20.000	5.730
10.000	11.460
5.000	17.190

## Actividad 2

Se busca determinar la antigüedad de una momia negra de Chinchorro, cuya cantidad inicial de C-14 se estima en  $C_0 = 40000$  átomos y que la cantidad actual medida en una muestra es de  $C_a = 17000$  átomos. Recuerda que la concentración de C-14 decae exponencialmente de acuerdo con la siguiente expresión:

$$C(t) = C_0 \cdot 0,5^{\frac{t}{5730}}$$

Reemplaza los valores de  $C_0$  y  $C_a$  para luego determinar la antigüedad de esta momia.



*Momia negra de Chinchorro*

## Actividad 2

### Respuesta

Buscamos el tiempo  $t$ , tal que  $C(t) = 17000$ , es decir,

$$\begin{aligned}
 C(t) &= C_0 \cdot 0,5^{\frac{t}{5730}} && \text{Reemplazamos los valores de } C_0 = 40000 \text{ y } C_a = 17000 \\
 17000 &= 40000 \cdot 0,5^{\frac{t}{5730}} && \\
 \frac{17000}{40000} &= 0,5^{\frac{t}{5730}} && \text{Dividimos a ambos lados por 40000} \\
 \log_{0,5} \left( \frac{17000}{40000} \right) &= \frac{t}{5730} && \text{Usamos la definición de logaritmo} \\
 \log_{0,5} \left( \frac{17000}{40000} \right) &= t \Rightarrow t \approx 7073 \text{ años} && \text{Despejamos } t \text{ y usamos calculadora}
 \end{aligned}$$



Momia negra de Chinchorro

## Actividad 3

En la actividad anterior se estimó la antigüedad de una momia negra de Chinchorro. Mediante estimaciones y mediciones en muestras orgánicas, se ha determinado la cantidad inicial de átomos de C-14 ( $C_0$ ) y la cantidad actual de átomos de C-14 ( $C_a$ ) para otros tres tipos de momias de la cultura Chinchorro: la momia Roja, la momia con vendaje y la momia con pátina de barro.

Tipo de momia	$C_0$	$C_a$	Antigüedad estimada (en años)
Roja	30.000	22.000	
Con vendaje	40.000	25.000	
Con pátina de barro	35.000	24.000	



Usando el [recurso GeoGebra](#), completa la tabla anterior con las antigüedades de cada momia.

# Actividad 3

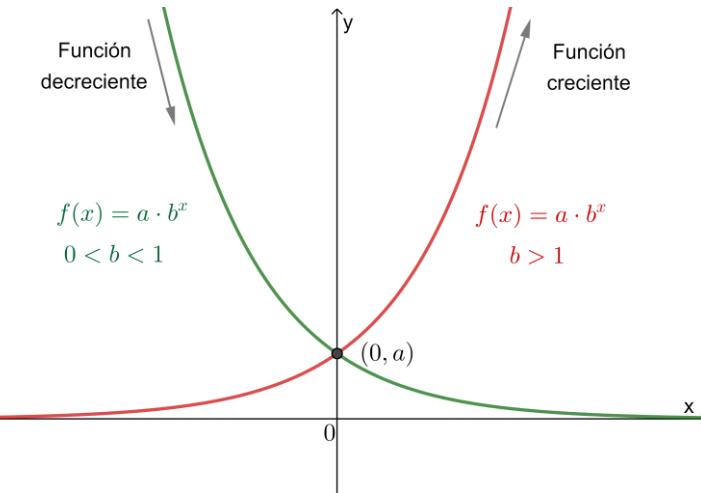
## Respuestas

Tipo de momia	$C_0$	$C_a$	Antigüedad estimada (en años)
Roja	30.000	22.000	2.564
Con vendaje	40.000	25.000	3.885
Con pátina de barro	35.000	24.000	3.119



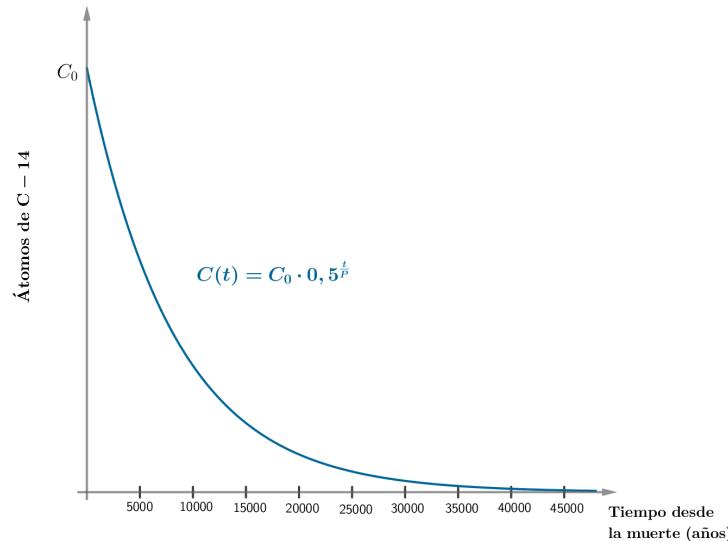
# Conclusiones

- Las funciones exponenciales permiten modelar muchos fenómenos del mundo real que involucran crecimiento o decrecimiento, tales como crecimiento poblacional, desintegración radioactiva, concentración de medicamento, interés compuesto, entre otras muchas situaciones.
- Las funciones exponenciales son aquellas que pueden ser representadas de la forma  $f(x) = a \cdot b^x$ , donde  $b > 0$  y  $b \neq 1$ . El número  $b$  se conoce como base.
- La constante  $a$  corresponde al valor donde el gráfico de la función intercepta al eje  $y$ , mientras que el valor de la base  $b$  determina si la función es creciente o decreciente.



# Conclusiones

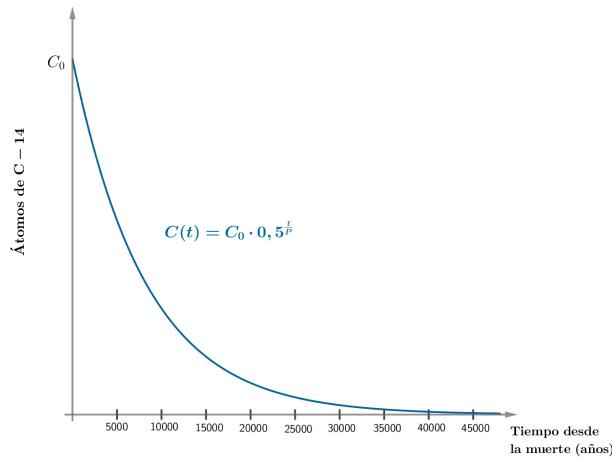
- En esta actividad, usamos un modelo exponencial para determinar la antigüedad de distintas momias de la cultura chinchorro, cuyos asentamientos estaban en la costa del desierto de Atacama



- Este modelo describe como decae la cantidad de carbono 14 en un organismo después de su muerte.

# Conclusiones

- A partir de él, fue posible determinar la antigüedad de las momias, conociendo la cantidad inicial y actual de C-14 y despejando el tiempo  $t$  a partir de la definición de logaritmo.



$$C_a = C_0 \cdot 0,5^{\frac{t}{5730}} \leftrightarrow t = 5730 \cdot \log_{0,5} \left( \frac{C_a}{C_0} \right)$$





# Carbono 14



**CMM Edu**  
Laboratorio de Educación  
Centro de Modelamiento  
Matemático

