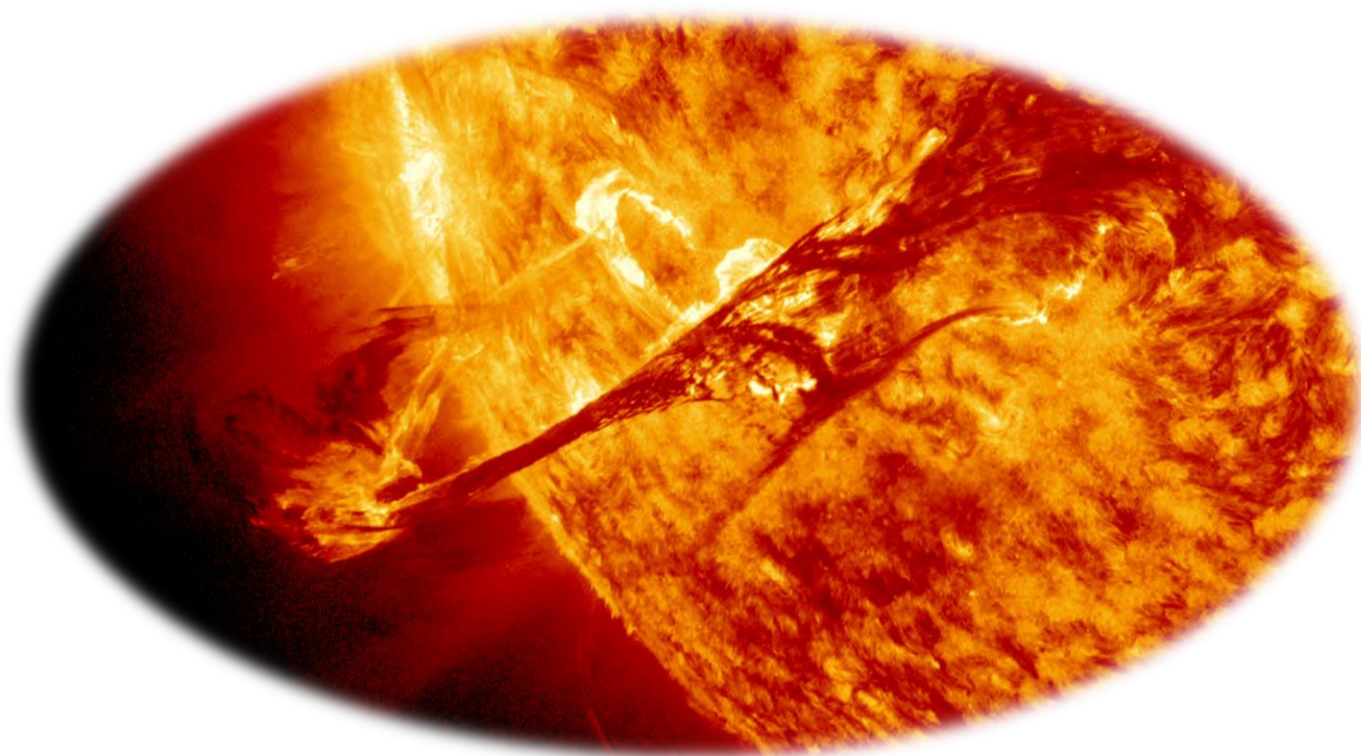


Caso Científico CESAR

Erupciones Solares

¿Qué son y cómo nos afectan?

Guía del Estudiante



Índice

Introducción	3
Investigando las eyecciones	4
Actividad 1: Plantea tu hipótesis	4
.....	6
Actividad 2: Velocidad y tiempo	6
Paso 1: Selecciona imágenes para el estudio de la tormenta solar	6
Paso 2: Toma medidas	7
Paso 3: Calcula la velocidad	8
Paso 4: Calcula el tiempo de llegada	10
Actividad complementaria: Calcula la aceleración	12

Introducción

Nuestro planeta está rodeado por un campo magnético invisible, que protege a la Tierra de la radiación perjudicial del espacio, que en su mayoría procede del Sol (ver Figura 1). El campo magnético de la Tierra es muy estable y no cambia mucho a lo largo del tiempo. El Sol también tiene un campo magnético pero que, a diferencia del de la Tierra, éste es errático. Está compuesto por muchos dipolos magnéticos, cuya posición e intensidad están cambiando constantemente.

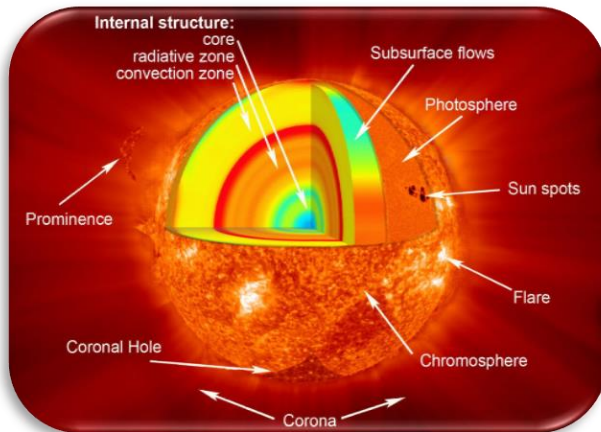


Figura 1: Partes del Sol (Créditos: NASA)

Este cambio constante (actividad Solar) puede causar grandes explosiones en sus capas más externas. Estas explosiones se conocen como Eyecciones de Masa Coronal.

La influencia del Sol en la Tierra es lo que los científicos llaman “meteorología espacial”. Nuestro campo magnético es el punto de unión entre la Tierra y el Espacio, y las partículas cargadas, emitidas por el Sol, pueden llegar a producir efectos muy atractivos visualmente, como las Auroras Boreales, o por el contrario fenómenos dañinos por el exceso de radiación.

Por este motivo es importante para la Humanidad que los científicos realicen seguimientos de la Actividad Solar. Si la eyección es lo suficientemente potente, cuando ésta llegue a la Tierra, podría dañar los satélites de telecomunicaciones e incluso instalaciones eléctricas aquí en la superficie. Sabiendo cuándo se aproximan estas eyecciones, se puede tomar acción para evitar daños. Otro efecto importante de la Actividad Solar es también su impacto en el histórico del clima de la Tierra. Algunas investigaciones en el Hemisferio Norte han probado que, a mayor cantidad de manchas detectadas sobre el disco del Sol, el clima en la Tierra ha sido más cálido, y por el contrario más gélido cuando estas manchas solares eran menor en número y/o tamaño.

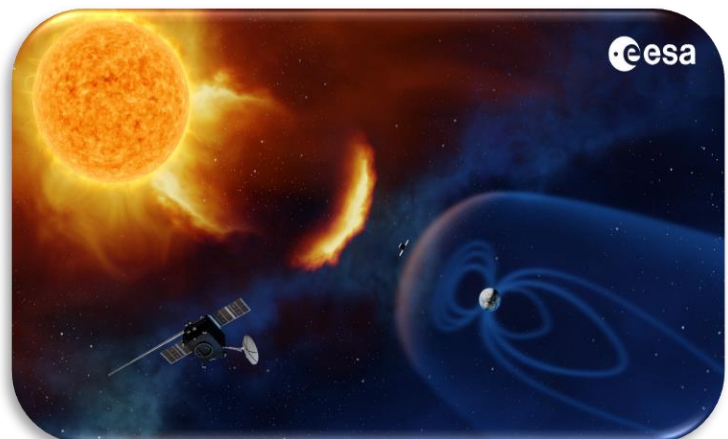


Figura 2: Ilustración del campo magnético de la Tierra (Créditos: ESA)

Pero al igual que no podemos evitar que ocurran grandes huracanes, o terremotos devastadores, saber dónde y cuándo pueden ocurrir nos brinda un tiempo vital para llevar a cabo acciones preventivas que nos permitan mitigar daños y pérdidas. Por este motivo numerosas misiones espaciales y telescopios en Tierra han estudiado y siguen estudiando el Sol. Algunas de estas misiones incluyen al satélite “Solar and Heliospheric Observatory”, SOHO, desarrollado conjuntamente por ESA y NASA, a Proba-2 (desarrollado por ESA) y a Ulysses (desarrollado por ESA y NASA), que terminó su actividad en 2009.

Gran parte de la información de estas misiones espaciales está abierta al público. Las actividades de este caso harán uso de esta información y permitirá a los estudiantes aplicar sus conocimientos adquiridos para resolver varios problemas, que hoy en día son una realidad.

Nota: A lo largo de este caso científico nos referiremos a las eyecciones de masa coronal como eyecciones o erupciones solares.

Investigando las eyecciones

Actividad 1: Plantea tu hipótesis

1. La siguiente tabla muestra cuanto tiempo tardarían o la velocidad que llevarían diferentes vehículos si recorrieran la distancia Tierra-Sol. Completad la siguiente tabla usando la ecuación del Movimiento Rectilíneo Uniforme:

$$v = \frac{d}{t} \qquad t = \frac{d}{v}$$

Donde v es la velocidad, d es la distancia y t el tiempo

Ayuda: Distancia Sol-Tierra: 150 000 000 km

Vehículo	Velocidad	Tiempo
Luz	$3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$	
Nave Especial más rápida		6 meses
Avión	1000 km/h	
Coche		142 años
Bicicleta	25 km/h	

Usa el siguiente recuadro para hacer tus cálculos:

2. Estima cuánto tiempo crees que tardaría una eyección en llegar desde el Sol a la Tierra. ¿Crees que todas tardarán lo mismo? Razona tu respuesta

3. ¿Crees que todas las eyecciones que el Sol emite llegan a chocar con la Tierra? Puedes añadir un dibujo para que la explicación sea más visual.

¿Sabías qué?

Muchos satélites y telescopios en tierra están constantemente observando al Sol. Una nueva rama de estudio, conocida como **Heliofísica** se encarga de recopilar diariamente datos de estos observatorios, como **PR**oject for **On Board** **A**utonomy mission (PROBA-2) y **S**olar and **H**eliospheric **O**bservatory (SOHO), desarrollado conjuntamente por la NASA y la ESA.

El satélite Solar Orbiter, lanzado en 2020 por la Agencia Espacial Europea, tomará imágenes del Sol y de su superficie, acercándose la estrella más que cualquier otra misión anterior y aportando información exclusiva.

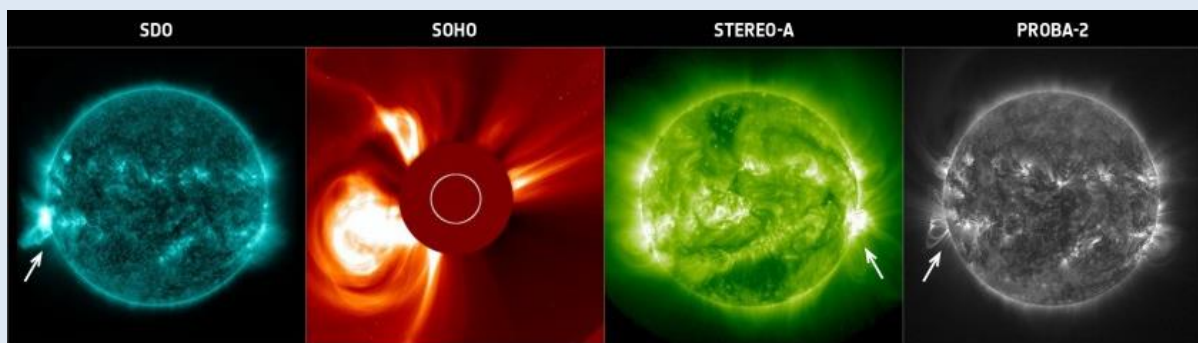


Figura 3: El Sol observado a través de varios filtros (Créditos: kiri2ll.livejournal.com)

Actividad 2: Velocidad y tiempo

En esta actividad calcularás la velocidad de una eyección solar y el tiempo que tarda en llegar a la Tierra. Para ello utilizarás imágenes reales de una eyección emitida por el Sol que ha sido fotografiada por el satélite SOHO (ESA Utilizarás un set de 4 imágenes para ver como evoluciona a lo largo del tiempo).

Paso 1: Selecciona imágenes para el estudio de la tormenta solar

1. Primero, abre la herramienta on-line en este link:
http://cesar.esa.int/tools/15.coronal_mass_ejections/index.php?Step=2&Set=1

Verás que hay varios grupos de imágenes. Cada grupo contiene 4 imágenes de una Eyección de Masa Coronal por lo que podemos conocer su evolución a lo largo del tiempo.

En cada imagen hay un círculo blanco que nos indica el tamaño real del Sol. Las imágenes han sido tomadas con el instrumento LASCO, a bordo del satélite SOHO, el cual es un coronógrafo que bloquea la luz directa del Sol, para que la atmósfera del Sol, la corona, pueda ser observada.

2. Elige 1 de las 3 opciones presentadas de grupos de imágenes para comenzar a trabajar.



Figura 4: Herramienta Online, Paso 1 (Créditos: CESAR)

Paso 2: Toma medidas

1. Primero, necesitas medir el radio del Sol con la herramienta on-line. Ya sabemos cuál es el radio del Sol en kilómetros, así que una vez lo hayas medido en el ordenador la herramienta conocerá internamente la relación entre kilómetros y píxeles (para nosotros es transparente esta conversión).

¿Sabías qué?

Un **píxel** es el elemento más pequeño en una imagen. Éste nos proporciona mucha de información sobre el objeto que estamos fotografiando, por comparación de tamaños con el de 1 píxel. En el caso del tamaño del Sol, sabiendo que su radio mide 695 842 kilómetros y en la imagen 40 píxeles, las medidas en píxeles en la imagen podrán ser transformadas a km por la simple regla de tres:

$$\frac{\text{Radio del Sol (km)}}{\text{Radio del Sol (píxeles)}} = \frac{\text{Recorrido de la eyección (km)}}{\text{Recorrido de la eyección (píxeles)}}$$

En los pasos siguientes, tendrás que medir lo que se está alejando la eyección del centro del Sol en cada foto.

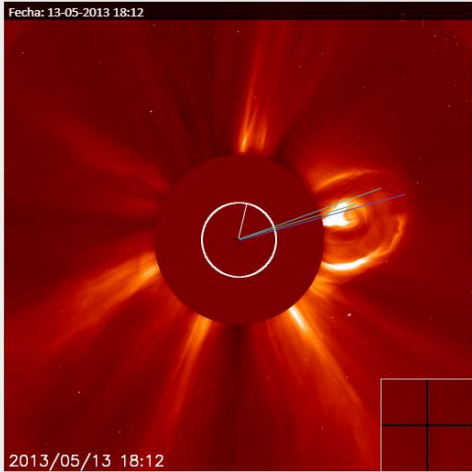
2. Ve a la segunda caja y pincha con el ratón en el centro del Sol (que es el círculo blanco), es decir, en la cruz negra y vuelve a pinchar en el punto más alejado de la eyección. La información que tienes es la distancia recorrida por la erupción solar, en píxeles y en kilómetros, así como la fecha en la que las fotografías fueron tomadas.

3. Repite el mismo proceso con todas las imágenes.

Estudio de Eyecciones de Masa Coronal v1.0

Paso: 2/4
Mide la distancia a la que se encuentra la erupción solar del centro del Sol

Fecha: 13-05-2013 18:12



2013/05/13 18:12

Atrás

Tarea 1
Mide el radio del Sol. Recuerda que el Sol es el círculo blanco de la imagen

39 pixeles | 695.842km

Tarea 2
Mide la evolución de una erupción solar

- Selecciona la casilla con la primera imagen.
- Haz click en el centro del Sol (cruz negra) y en el extremo de la erupción solar.
- Repitelo para cada imagen.

13-05-2013 17:48		134 pixeles 2.390.842km
13-05-2013 18:00		165 pixeles 2.943.947km
13-05-2013 18:12		188 pixeles 3.354.315km
13-05-2013 18:24		Medida

Continuar

Figura 5: Herramienta Online, Paso 2. (Créditos: CESAR)

Anota tus datos en la siguiente tabla:

Imagen	Fecha y hora (DD-MM-YYYY hh:mm)	Distancia desde el centro del Sol (km)
1		
2		
3		
4		

Pulsa **Continuar** cuando hayas terminado para ir al siguiente paso.

Paso 3: Calcula la velocidad

En el lado izquierdo de la herramienta on-line, puedes ver la siguiente información por imagen:

- la distancia del Sol al extremo de la eyección que has medido
- la fecha en la que fue tomada la fotografía.

1. Para estimar la velocidad de la eyección, completa los recuadros vacíos de la página web.

Estudio de Eyecciones de Masa Coronal v1.0

Paso: 3/4
Calcula la velocidad

Imagen 1
Distancia: 2 390 842 km
Fecha: 13-05-2013 17:48

Imagen 2
Distancia: 2 943 947 km
Fecha: 13-05-2013 18:00

Imagen 3
Distancia: 3 354 315 km
Fecha: 13-05-2013 18:12

Imagen 4
Distancia: 3 853 894 km
Fecha: 13-05-2013 18:24

Calcula la velocidad de la erupción solar

$V_{1-2} = \frac{\text{[]} - \text{[]} \text{ km}}{\text{[]} \text{ s}} = \text{[]} \text{ km/s}$

$V_{2-3} = \frac{\text{[]} - \text{[]} \text{ km}}{\text{[]} \text{ s}} = \text{[]} \text{ km/s}$

$V_{3-4} = \frac{\text{[]} - \text{[]} \text{ km}}{\text{[]} \text{ s}} = \text{[]} \text{ km/s}$

Introduce la variación de tiempo y posición de la eyección entre pares de imágenes. Pulsa el botón de calcular.

Atrás Continuar

Figura 6: Herramienta Online, Paso 3

Recuerda que tienes que introducir el valor de la distancia recorrida (en kilómetros) y el tiempo que tarda en recorrerlo (en segundos).

La distancia recorrida por la eyección la puedes calcular como la diferencia de distancias entre la medida de dos fotografías consecutivas, y el tiempo es el tiempo que ha pasado entre la imagen inicial y la final. Emplea las siguientes ecuaciones, donde v es la velocidad, d_1 la distancia de la primera medida, d_2 es la distancia de la segunda y así...

$$v_{1-2} = \frac{d}{t} = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$$

$$v_{2-3} = \frac{d}{t} = \frac{d_3 - d_2}{t_3 - t_2}$$

$$v_{3-4} = \frac{d}{t} = \frac{d_4 - d_3}{t_4 - t_3}$$

Ayuda: Solo ten en cuenta las horas y minutos, ¡el día es el mismo!

- Haz click en el botón **Calcular** de la herramienta on-line y verás los resultados.

Escribe tus resultados en la siguiente tabla:

$v_{1-2} =$	km / s
$v_{2-3} =$	km / s

$$v_{3-4} = \quad \text{km / s}$$

Y haz click en **Continuar**.

Paso 4: Calcula el tiempo de llegada

¡Ha llegado el momento de calcular el tiempo del recorrido!

Habrás notado que la velocidad no es la misma para cada par de imágenes, aunque todas ellas corresponden a la misma eyección. Calcula la velocidad media y anótala a continuación:

$$v_m = \quad \text{km / s}$$

1. Introduce también este valor de la velocidad media v_m en la página web.

Figura 7: Herramienta Online, Paso 3. (Créditos: CESAR)

Usando la siguiente relación podrás calcular el tiempo del viaje

$$t = \frac{d}{v} = \frac{d_{S-T}}{v_m}$$

Ayuda: Distancia Sol-Tierra = 150 000 000 km

2. Con la velocidad media v_m y la distancia que hay entre el Sol y la Tierra (d_{S-T} en la ecuación) podrás estimar el tiempo que tardará en llegar la eyección. Introduce estos valores en las casillas de la herramienta y haz click en el botón **Calcular**. La respuesta aparecerá en segundos, así que tendrás que pasarla a una unidad más intuitiva, cómo **horas**, **días** o **minutos**. Usa el recuadro para hacer los cálculos.

$t_m =$		s
---------	--	---

$t_m =$	<i>días</i>	<i>horas</i>	<i>minutos</i>
---------	-------------	--------------	----------------

Cuando hayas terminado, puedes comparar tu resultado con el de tus compañeros o elegir otro set de imágenes y compararlo con tus primeras medidas. ¿Es la velocidad la misma para cada eyección de masa coronal?

Actividad complementaria: Calcula la aceleración

Si queremos realizar un estudio más preciso, tendremos que considerar que el movimiento de la eyección tiene una aceleración uniforme.

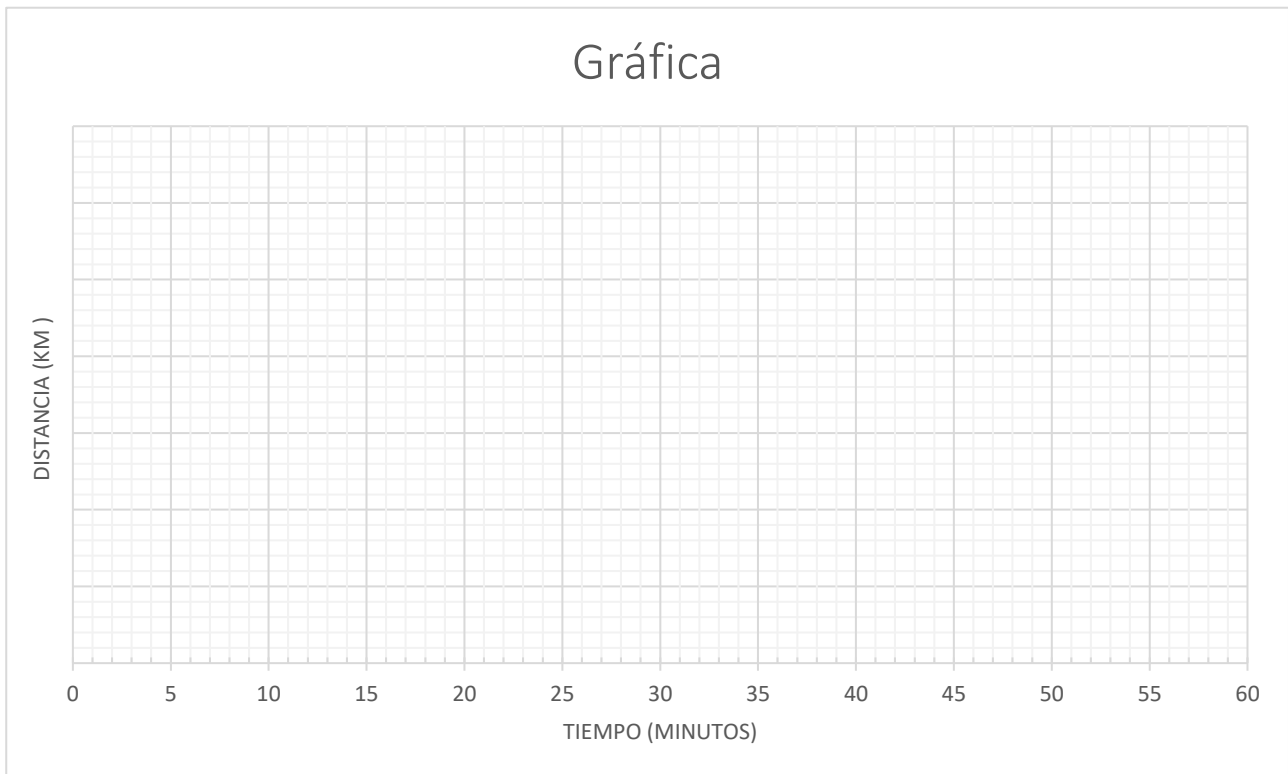
Como habrás notado, **la velocidad con la que se mueve la eyección no es siempre la misma**, lo que quiere decir que existe una aceleración. Podremos obtenerla si medimos la velocidad a lo largo de un período de tiempo. Si usamos la primera velocidad v_{1-2} y la última velocidad v_{3-4} de la Actividad 2 y el tiempo que ha pasado entre la primera y última foto en segundos, obtendremos una aproximación para la aceleración.

$$a = \frac{v}{t} = \frac{(v_{3-4} - v_{1-2})}{(t_4 - t_1)}$$

1. Usa los valores de velocidad de la Actividad 2 para obtener la aceleración de la eyección.

2. Haz una gráfica representando la posición (eje Y) frente al tiempo (eje X). ¿Qué tipo de movimiento sigue la eyección? ¿A qué crees que se debe?

Imagen	Tiempo transcurrido (minutos)	Distancia desde el centro del Sol (km)
1		
2		
3		
4		



3. Una vez obtenida la aceleración, haciendo uso de la ecuación de un Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado podrás calcular el tiempo. Despejando t de la siguiente ecuación:

$$d = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Utilizando como d la distancia desde el Sol a la Tierra (150 000 000 km), como v_0 la velocidad del primer par de imágenes (v_{1-2}) y como a la aceleración obtenida anteriormente, calcula el tiempo de llegada de la eyección a la Tierra (t).