

# Solucionario del Libro de actividades educativas Explorando Exoplanetas

Este documento ofrece respuestas a las preguntas planteadas en el libro de actividades educativas "Explorando Exoplanetas". Muchas de las preguntas buscan fomentar el pensamiento crítico en las y los estudiantes, por lo que las respuestas aquí presentadas son generales y no necesariamente las únicas posibles.

Al igual que el libro de actividades, la asignatura a la que está relacionada la actividad es mostrada con la siguiente iconografía:



Si encuentras algún error en este documento, escríbenos a [comunicacionesyems@gmail.com](mailto:comunicacionesyems@gmail.com).

## TALLER 1.

### Las leyes que rigen la formación planetaria



#### Actividad 1.1. ¡Eso que nos mantiene con los pies en la Tierra!

- a) ¿Dónde se encuentra la gravedad?

*La gravedad se siente hacia el suelo, se siente desde el centro de la Tierra.*

- b) ¿Es posible escapar de la gravedad? argumenta tu respuesta

*Para escapar de la gravedad, un objeto necesita alcanzar una velocidad específica llamada velocidad de escape. Esta velocidad depende de la masa del cuerpo que genera la gravedad. Por ejemplo, la velocidad de escape de la Tierra es de aproximadamente 40.000 km/h. Los cohetes espaciales logran liberarse de la gravedad terrestre porque sus motores les permiten alcanzar esta velocidad.*

- c) ¿Qué es la gravedad y cómo afecta a los objetos en la Tierra?

*La gravedad en la Tierra la percibimos como una fuerza fundamental que atrae a todos los objetos con masa entre sí. Es como una fuerza invisible que nos mantiene pegados a la Tierra. Sin embargo, en realidad la gravedad es la capacidad que tienen los cuerpos de curvar el espacio-tiempo. Mientras más masa tiene un cuerpo, ¡más curvará el espacio a su alrededor! De hecho, la Tierra, con toda su masa, está curvando al espacio a su alrededor.*

- d) ¿Cómo crees que influye la gravedad en los planetas que giran alrededor del Sol? ¿Por qué no se “caen” al Sol si están siendo atraídos por su gravedad?

*La gravedad, que podemos entender como una deformación del espacio-tiempo, es la fuerza que mantiene a los planetas en órbita alrededor del Sol. La enorme masa del Sol deforma el espacio-tiempo a su alrededor, creando una especie de "pozo" gravitacional. Los planetas, al moverse a velocidades suficientemente grandes, no "caen" hacia el Sol, sino que se mantienen en órbita alrededor de este "pozo". Es como si estuvieran constantemente "cayendo" hacia el Sol, pero su movimiento lateral los mantiene en una trayectoria circular.*

- e) ¿Qué relación crees que tiene la gravedad con la formación de planetas?

*La gravedad juega un papel fundamental en la formación de planetas ya que es la fuerza que hace que los trozos de materia se atraigan entre sí. En las primeras etapas de la formación de un sistema planetario, pequeñas partículas de polvo y gas se unen debido a*

la gravedad, formando cuerpos más grandes. A medida que estos cuerpos se agrupan, su masa aumenta y, por lo tanto, su gravedad también. Esto les permite atraer aún más materia, formando lo que se conoce como protoplanetas. Este proceso es esencial para la creación de planetas.

---

## Actividad 1.2. ¡Girando sin parar!

- a) ¿Qué sucedió cuando doblaste los brazos?

*Cambió la velocidad con la que giramos cuando doblamos los brazos.*

- b) ¿Qué pasó con la velocidad de giro, aumentó o disminuyó? ¿Por qué?

*Al doblar los brazos la velocidad de giro aumentó, porque a menor distancia se gira más rápidamente, y a mayor distancia se gira más lentamente.*

- c) ¿Cómo se siente la experiencia de girar tres personas con respecto al ejercicio anterior?

*Con 3 personas la diferencia en la velocidad de giro no se nota tanto. A mayor masa en juego, los cambios de distancia no tienen tanto impacto.*

- d) Lo que experimentaste se conoce como la conservación del momentum angular y matemáticamente se expresa como  $l = mv \times r$ . ¿Habías visto esta ecuación? ¿Podrías explicar con tus propias palabras qué significa, basándote en la experiencia que tuviste al doblar y extender tus brazos?

*El momentum angular depende de la masa  $m$ , de la velocidad de giro  $v$ , y la distancia  $r$  entre los cuerpos y el punto de giro. El momentum angular se conserva, por lo que, el que tenemos al principio con brazos extendidos, tiene que ser el mismo que con los brazos doblados. El momentum angular inicial está dado por la masa de nuestros cuerpos, la distancia con brazos estirados, y la velocidad con que giramos al principio. Luego, cuando doblamos los codos la distancia de giro  $r$  disminuye y puesto que como el momentum angular no se pierde, si la masa no cambió, entonces, la velocidad de giro al doblar los brazos debe aumentar para mantener el momento angular.*

- e) ¿Cómo crees que influye la conservación del momentum angular en la formación planetaria?

*La conservación del momentum angular es fundamental para la formación de planetas. La nube de gas y polvo que da origen a un sistema planetario al colapsar bajo la fuerza de la gravedad se contrae, aumentando su velocidad de rotación. Recuerda lo que pasó al doblar los brazos mientras girabas, al disminuir el radio de giro aumenta la velocidad de rotación. Lo mismo le pasa a la nube.*

*La conservación del momentum angular también explica por qué la nube, luego de formar a la estrella, se aplana en un disco. La rápida rotación hace que la materia se distribuya en un plano, formando el disco circunestelar, donde se forman los planetas.*

---

### Actividad 1.3. ¿Cómo se forman los planetas?

- a) ¿De qué manera influye la gravedad en la formación planetaria? ¿Tu respuesta es igual o diferente a la que respondiste en la actividad 1.1?

*La actividad de simular la formación planetaria nos ayudó a comprender el rol de la gravedad en el proceso. Al simular el movimiento de las rocas en el disco protoplanetario, cuando hubo choques con otros(as) compañeros(as), la gravedad los unía, haciendo que se movieran juntos. Esto representa la aglutinación de pequeñas rocas que forman los protoplanetas.*

- b) ¿De qué manera influye la conservación del momentum angular en la formación planetaria? ¿Tu respuesta es igual o diferente a la que respondiste en la actividad 1.2?

*Los choques entre roquitas aumentan la masa del cuerpo y cada cuerpo transfiere su momentum angular a la estructura más grande que la mantiene en movimiento, así en cada choque de roquitas se conserva el momentum angular. Sin embargo, la interacción entre la gravedad y el momentum angular no son suficientes para explicar la formación planetaria.*

- c) ¿Qué otros conceptos de física están involucrados en la formación planetaria y de qué forma influyen en este proceso?

*En el proceso de choque de rocas existe aparte de conservación del momentum angular, conservación de la energía. La energía cinética de las colisiones entre partículas se convierte en energía térmica, lo que puede contribuir a la fusión y aglutinación de cuerpos más grandes. Esta disipación de energía es producida por la fricción entre las partículas en el disco protoplanetario, provocando la disipación de energía cinética, lo que lleva a la disminución del movimiento y el calentamiento del disco.*

---

## TALLER 2. Clasificación de exoplanetas



### Actividad 2.1. Clasificando exoplanetas

- a) ¿En qué categoría son clasificados los planetas gaseosos calientes? ¿y los gaseosos fríos?

*Los planetas gaseosos calientes corresponden a la categoría de planetas gigantes gaseosos o también llamados Júpiter calientes, y que se encuentran muy cerca de su estrella. Ejemplo de planeta gaseoso caliente: 51 Pegasi b.*

*Los planetas gaseosos fríos por otro lado pueden corresponder tanto a la categoría de planetas gigantes gaseosos como a la categoría llamada Neptunos de hielo, los cuales se encuentran alejados de su estrella. Ejemplo de planeta gaseoso frío: OGLE-BLG-235L b.*

- b) ¿En qué categoría son clasificados los planetas rocosos calientes? ¿y los rocosos fríos?

*Los planetas rocosos calientes pueden corresponder tanto a la categoría de Supertierras o planetas rocosos y que están muy cerca de su estrella. Ejemplo de planeta rocoso caliente: GJ 367 b (Tahay).*

*Los planetas rocosos fríos pueden corresponder tanto a la categoría de Supertierras o planetas terrestres y que están muy alejados de su estrella. Ejemplo de planeta rocoso frío: TRAPPIST-1 h.*

- c) ¿En qué categoría son clasificados los planetas terrestres habitables?

*Los planetas terrestres habitables corresponden a la categoría tanto de Supertierras como de planetas terrestres, que se encuentran en la zona habitable de su estrella. Ejemplo de planeta terrestre habitable: Proxima Centauri b.*

## Actividad 2.2. ¿Cuál es ese exoplaneta?

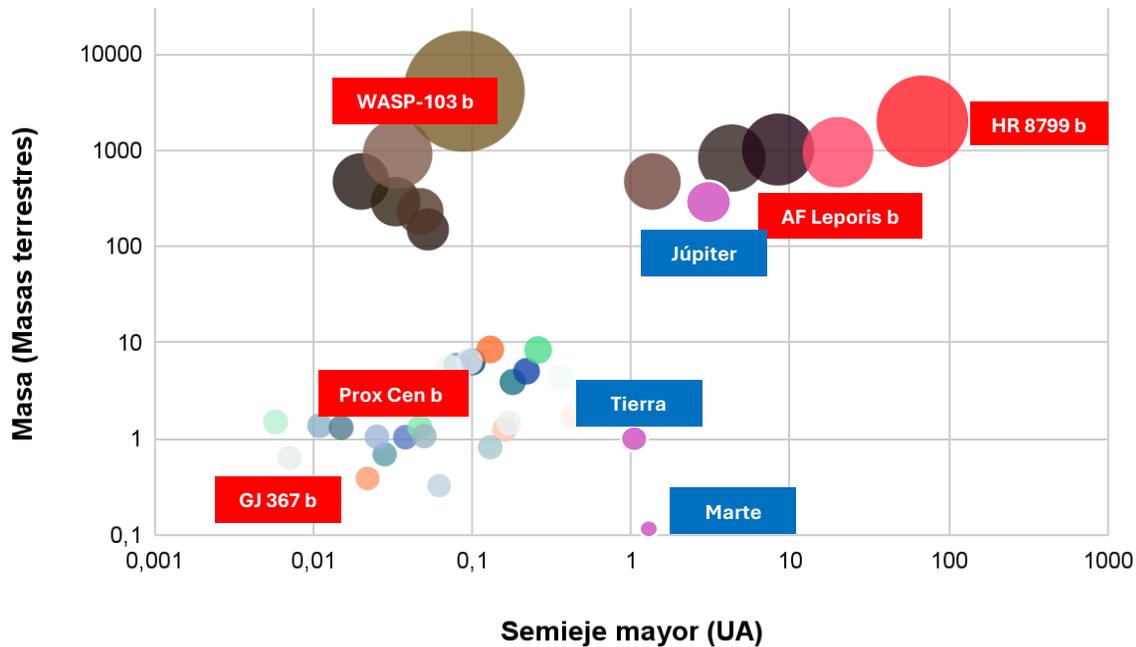


Figura 2.3. Diagrama de clasificación de exoplanetas.

### 1. ¿Cómo es la tendencia de tamaño y ubicación de los exoplanetas en el diagrama?

*Se observan dos tendencias. La primera respecto a los planetas pequeños (masa <10 masas terrestres) muestra que en general se encuentran muy cerca de su estrella, a distancias menores de 1 UA. La segunda tendencia es que hay muchos exoplanetas gigantes muy cerca de su estrella, situación que no ocurre en nuestro sistema solar.*

### 2. ¿Esta tendencia es igual o diferente a la de nuestro sistema solar? Describa.

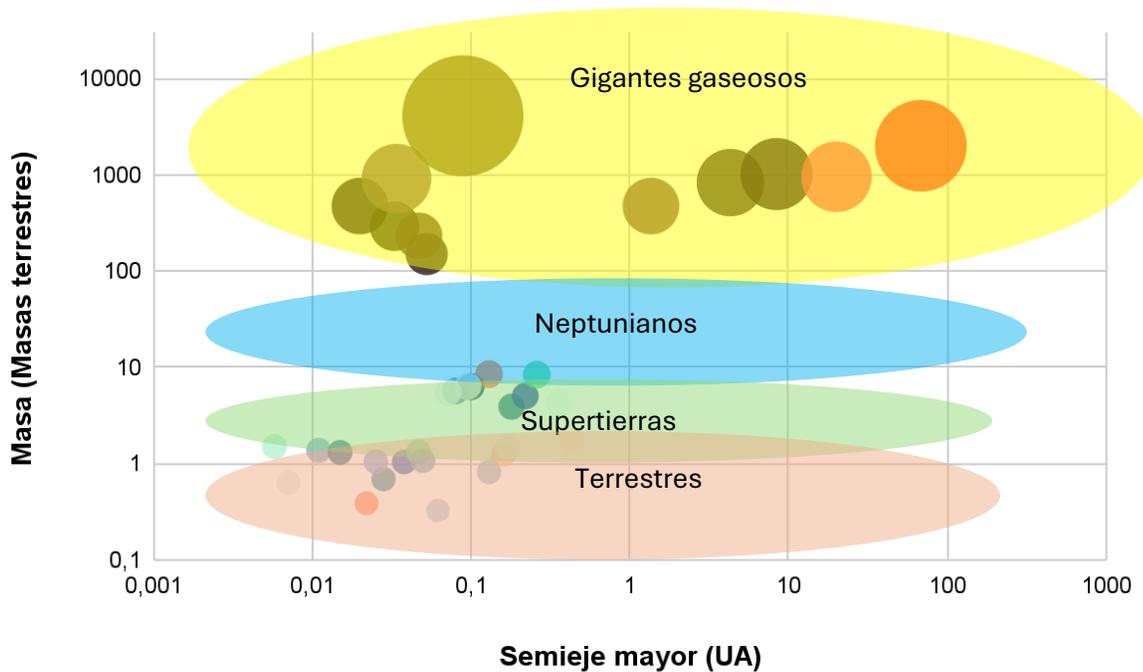
*La ubicación y tamaño de los exoplanetas es muy diferente a la de nuestro sistema solar. En nuestro sistema solar los planetas rocosos pequeños están cerca del Sol y los planetas gigantes gaseosos alejados del Sol. En cambio, en los sistemas extrasolares hay tanto planetas pequeños como gigantes gaseosos cerca de su estrella.*

### 3. ¿A qué crees que se debe esta tendencia?

*La mayoría de los exoplanetas descubiertos hasta ahora son grandes y orbitan cerca de su estrella. Esto se debe a que los métodos de detección actuales favorecen la detección de planetas grandes que generan un efecto más notable en su estrella. Además, los planetas cercanos a la estrella tienen períodos orbitales más cortos, lo que permite observar más*

*tránsitos en un tiempo más corto. La detección de planetas pequeños o lejanos requiere más tiempo de observación y técnicas más sensibles.*

- Ubica en el diagrama de la figura 2.3 cada categoría definida en la carta del juego y pinta las zonas donde se encontrarían esos exoplanetas en el diagrama.



### Actividad 2.3 Distancias a escala del Sistema Solar, TRAPPIST-1 y HD 110067

- Sistema Solar a escala.**

Planeta	Distancia al Sol (UA)	Distancia escalada al Sol (m)
Mercurio	0.39	1.95
Venus	0.72	3.6
Tierra	1	5
Marte	1.52	7.6
Júpiter	5.2	26
Saturno	9.54	47.7
Urano	19.2	96
Neptuno	30.06	150.3

## 2. Sistema TRAPPIST-1 a escala.

Planeta	Distancia a la estrella TRAPPIST-1 (UA)	Distancia escalada a la estrella TRAPPIST-1 (m)
TRAPPIST-1 b	0.011	0.055
TRAPPIST-1 c	0.015	0.075
TRAPPIST-1 d	0.022	0.11
TRAPPIST-1 e	0.02817	0.14085
TRAPPIST-1 f	0.038	0.19
TRAPPIST-1 g	0.047	0.235
TRAPPIST-1 h	0.062	0.31

## 3. Sistema HD 110067 a escala.

Planeta	Distancia a la estrella HD 110067 (UA)	Distancia escalada a la estrella HD 110067 (m)
HD 110067 b	0.08	0.4
HD 110067 c	0.1	0.5
HD 110067 d	0.13	0.65
HD 110067 e	0.18	0.9
HD 110067 f	0.22	1.1
HD 110067 g	0.26	1.3

## 4. Construyendo Sistemas planetarios a escala.

1. ¿Cómo se compara el tamaño del sistema TRAPPIST-1 con el de nuestro sistema solar?

*El sistema planetario TRAPPIST-1 es tan pequeño que cabe dentro de la órbita de Mercurio alrededor del Sol.*

2. ¿Cómo se compara el tamaño del sistema HD 110067 con el de nuestro sistema solar?

*El sistema planetario HD 110067 completo cabe dentro de la órbita de Mercurio alrededor del Sol.*

3. ¿En comparación a nuestro sistema solar ¿Cuál sistema planetario es más pequeño, TRAPPIST-1 o HD 110067? ¿Cuál es la proporción de la distancia del último planeta de HD 110067 en comparación con la distancia del último planeta de TRAPPIST-1? ¿Qué significa este resultado?

*El sistema TRAPPIST-1 es más pequeño que HD 11067.*

*La distancia del último planeta de TRAPPIST-1 (TRAPPIST-1h) es de 0.062 UA de su estrella. En comparación, el último planeta conocido de HD 110067 (HD 110067 g) se encuentra a una distancia de aproximadamente 0.26 UA de su estrella. Para calcular la proporción de distancias:  $\frac{0.26 \text{ UA}}{0.062 \text{ UA}} \approx 4$ .*

*Eso significa que el sistema TRAPPIST-1 cabría aproximadamente cuatro veces dentro de la órbita del último planeta del sistema HD 110067.*

---

### TALLER 3.

#### Rastreando planetas en la zona habitable



#### Actividad 3.1. Los ingredientes para albergar vida en un planeta

1. El ingrediente más importante que define a un planeta como potencialmente habitable es la presencia de *agua* en *estado líquido*.
2.
  - El planeta 1 no es probable que sea habitable porque el *agua* estaría en estado *gaseoso*.
  - El planeta 2 sí es probable que sea habitable porque el *agua* estaría en estado *líquido*.
  - El planeta 3 no es probable que sea habitable porque el *agua* estaría en estado *sólido*.
3. Investiga sobre qué otros factores podrían influir en la habitabilidad de un planeta, además de la existencia del agua.

*La presencia de una atmósfera para retener el calor, un campo magnético para proteger al planeta de la radiación cósmica y del viento solar. También influye la presencia de estaciones del año. En nuestro planeta las estaciones del año se producen por el ángulo de inclinación de la Tierra respecto al plano donde están los planetas, llamado Eclíptica. La rotación de la Tierra también se puede considerar que contribuye a la habitabilidad, ya que permite que se produzca el día y la noche, lo que ayuda a temperar al planeta. Si un planeta le mostrara siempre la misma cara a su estrella, ese lado del planeta sería muy caluroso, y el lado que no le llega luz de la estrella sería extremadamente frío.*

### Actividad 3.2. Los ingredientes para crear un ser vivo

- Utilizando una tabla periódica de los elementos químicos y con la ayuda de tu profesor(a) de química rellena con el número másico (A), número atómico (Z), configuración electrónica y electrones de valencia de los elementos CHONPS.

<p>12</p> <p style="font-size: 2em;">C</p> <p>6</p>	<p>1</p> <p style="font-size: 2em;">H</p> <p>1</p>	<p>16</p> <p style="font-size: 2em;">O</p> <p>8</p>
<p>Configuración electrónica <math>1s^2 2s^2 2p^2</math></p>	<p>Configuración electrónica <math>1s^1</math></p>	<p>Configuración electrónica <math>1s^2 2s^2 2p^4</math></p>
<p>14</p> <p style="font-size: 2em;">N</p> <p>7</p>	<p>31</p> <p style="font-size: 2em;">P</p> <p>15</p>	<p>32</p> <p style="font-size: 2em;">S</p> <p>16</p>
<p>Configuración electrónica <math>1s^2 2s^2 2p^3</math></p>	<p>Configuración electrónica <math>1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3</math></p>	<p>Configuración electrónica <math>1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4</math></p>

- Abundancias de los elementos químicos presentes en nuestra estrella, el Sol y en el ser humano.

Elemento	% en el Sol	% en el ser humano
Oxígeno	0.97	62.81
Carbono	0.3	19.37
Hidrógeno	75	9.31
Nitrógeno	0.1	5.14
Calcio	0.007	1.38
Fósforo	0.0007	0.64
Azufre	0.04	0.63
Sodio	0.004	0.26
Potasio	0.0004	0.22
Cloro	0.0008	0.18
Flúor	0.00005	0.009
Hierro	0.1	0.005
Aluminio	0.006	0.001
Magnesio	0.07	0.0001

- a) ¿Qué elemento es más abundante en seres humanos y en las estrellas?

*En el ser humano el elemento más abundante es el oxígeno que constituye un 63%, mientras que en el Sol es el hidrógeno, representando un 75% de la masa de la estrella.*

- b) Si comparas la abundancia de los elementos químicos presente en el ser humano y en las estrellas, ¿qué elementos químicos hay en común? ¿Qué puedes inferir de esto?

*Los elementos químicos que forman nuestro cuerpo también se encuentran en el Sol, una estrella. Esto quiere decir que hay una conexión profunda entre las estrellas y la vida, ya*

*que los elementos que nos componen fueron creados a partir de las fusiones nucleares que dan vida a las estrellas. Esto resalta la idea de que estamos hechos de "polvo de estrellas".*

- c) Investiga, ¿de dónde proviene el carbono? ¿Existe alguna relación entre el origen del universo y los elementos químicos?

*El carbono, el cual es un elemento fundamental para la vida. La mayor parte del carbono en el universo se forma en el interior de las estrellas a través de un proceso llamado nucleosíntesis estelar. Durante la vida de una estrella, el hidrógeno se fusiona para formar helio, y en etapas posteriores, el helio puede fusionarse para formar carbono. Cuando las estrellas masivas agotan su combustible, explotan en eventos conocidos como supernovas. Estas explosiones dispersan el carbono y otros elementos pesados en el espacio, donde pueden ser incorporados en nuevas estrellas, planetas y, eventualmente, en la vida misma. De esta forma, el carbono proviene principalmente de procesos estelares y su existencia está profundamente conectada con la historia del universo. ¡Es asombroso pensar en cómo estamos hechos de los mismos elementos que se formaron en las estrellas!*

- d) El carbono es considerado el elemento fundamental para las reacciones químicas que dan origen a la vida, especialmente por su capacidad de tener cuatro electrones de valencia que le permiten formar enlaces covalentes simples, dobles, triples y anillos. ¿Existe otro elemento químico que posea estas características? ¿Sería posible que la vida se basara en ese elemento para sustentarse? Argumenta tu respuesta.

*Sí existe otro elemento que comparte propiedades con el carbono, el silicio. El silicio (Si) también tiene cuatro electrones de valencia, lo que le permite formar enlaces covalentes simples, dobles y triples, así como estructuras cíclicas. De hecho, el silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, después del oxígeno.*

*¿Podría la vida basarse en el silicio? Aunque el silicio comparte algunas características con el carbono, existen algunas diferencias cruciales que hacen que la vida basada en silicio sea menos probable. Por ejemplo, los enlaces Si-Si son más débiles que los enlaces C-C, lo que significa que las moléculas basadas en silicio serían menos estables y reactivas. Por otro lado, el silicio reacciona con el agua para formar dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), un compuesto sólido e insoluble. Esto dificultaría la formación de moléculas orgánicas complejas en un entorno acuático. Y, por último, el silicio tiene un punto de fusión*

*mucho más alto que el carbono, lo que dificultaría la formación de moléculas orgánicas a las temperaturas que encontramos en la Tierra.*

### Calculando los límites de la zona habitable

#### Actividad 3.3. Buscando exoplanetas en la zona de habitabilidad

1. Busca entre tus cartas del juego todos los exoplanetas que se encuentran en la zona de habitabilidad. Estos planetas tienen el símbolo . Anota los datos de cada planeta en la siguiente tabla y ordénalos desde el más cercano al más lejano a la Tierra.

Nombre exoplaneta	Tipo	Distancia a la Tierra (Años luz)	Semieje mayor (UA)	Masa (masas terrestres)	Período orbital (días)
<i>Proxima Centauri b</i>	<i>Terrestre</i>	4.23	0.05	1.07	11.2
<i>Teegarden's Star b</i>	<i>Terrestre</i>	12	0.0252	1.05	4.9
<i>Gliese 581 c</i>	<i>Terrestre</i>	20.5	0.072	5.50	12.9
<i>TRAPPIST-1 e</i>	<i>Terrestre</i>	41	0.02817	0.69	6.1
<i>TRAPPIST-1 f</i>	<i>Terrestre</i>	41	0.038	1.04	9.2
<i>TRAPPIST-1 g</i>	<i>Super-Tierra</i>	41	0.047	1.32	12.3
<i>LHS 1140 b</i>	<i>Super-Tierra</i>	48.9	0.0957	6.38	24.7
<i>TOI-700 d</i>	<i>Terrestre</i>	101.5	0.16	1.25	37.4
<i>Kepler-186 f</i>	<i>Terrestre</i>	579.2	0.43	1.71	129.9
<i>Kepler 438 b</i>	<i>Super-Tierra</i>	639	0.17	1.46	35.2

2. De estos planetas, investiga cuál es el exoplaneta que más se parece a la Tierra.

*Kepler-186f es el exoplaneta que más se asemeja a la Tierra en términos de características de los exoplanetas de la lista. Aunque anteriormente se pensaba que Kepler-438b era un candidato viable para la habitabilidad, esa posibilidad fue descartada debido a la intensa radiación que recibe de su estrella anfitriona.*

*El exoplaneta más prometedor para la habitabilidad es Gliese 12 b. Sin embargo, no se encuentra entre las cartas del juego.*

3. ¿Cuál es el exoplaneta en la zona habitable más cercano a la Tierra? ¿A qué distancia en años luz se encuentra de la Tierra?

*El exoplaneta más cercano a la Tierra que se encuentra en la zona habitable es Proxima Centauri b, ubicado a 4.23 años luz de distancia.*

4. Si la velocidad máxima alcanzada por una nave espacial creada por el humano es de 175 km/s (como es el caso de la sonda Parker que orbita al Sol) ¿Cuánto tiempo tardaría una nave espacial en llegar al exoplaneta ubicado en la zona habitable más cercana a la Tierra a esa velocidad? Ten en cuenta que un año luz es la distancia que recorre la luz en un año a una velocidad de 300.000 km/s.

- *Convertir de años luz a km:*  
 $1 \text{ año} \times 365 \text{ día/año} \times 24 \text{ h/día} \times 3600 \text{ s/h} \times 300.000 \text{ km/s} = 9.4608 \times 10^{12} \text{ km}$
- *La distancia a Proxima Centauri b es de 4.23 años luz. Convirtiendo a km queda:*  
 $4.23 \text{ año\_luz} \times 9.4608 \times 10^{12} \text{ km/año\_luz} = 4.019184 \times 10^{13} \text{ km}$
- *Calcular el tiempo que tomaría en llegar a Proxima Centauri b:*  
$$\text{tiempo} = \frac{\text{distancia}}{\text{velocidad}}$$
$$t = \frac{4.02 \times 10^{13} \text{ km}}{175 \text{ km/s}} \approx 2.30 \times 10^{11} \text{ s}$$
- *Transformar de segundos a años: 1 año  $\approx$  31 536 000s*  
*entonces, tiempo en años =* 
$$\frac{2.30 \times 10^{11} \text{ s}}{31\,536\,000 \text{ s/año}} \approx 7293 \text{ años}$$

*En conclusión, una nave espacial viajando a 175 km/s tardaría aproximadamente 7300 años en llegar a Proxima Centauri b, el exoplaneta habitable más cercano conocido. Es importante destacar que este cálculo asume un viaje constante a la velocidad mencionada sin tener en cuenta factores como la aceleración y la desaceleración en el trayecto.*

### Actividad 3.4. La zona habitable de nuestro sistema solar y TRAPPIST-1

- a) Usa las ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3 para determinar los bordes internos y externos de la zona habitable de la estrella TRAPPIST-1, que tiene una luminosidad de 0.00052 veces la luminosidad del Sol y del Sol.

$d_{ZH\ TRAPPIST-1}$	$\sqrt{\frac{0.00052 L_{\odot}}{L_{\odot}}} = 0.0228\ UA$	$d_{ZH\ Sol}$	$\sqrt{\frac{1 L_{\odot}}{1 L_{\odot}}} = 1\ UA$
$d_{interna}$	$0.75 \sqrt{\frac{0.00052 L_{\odot}}{L_{\odot}}} = 0.017\ UA$	$d_{interna}$	$0.75 \sqrt{\frac{1 L_{\odot}}{1 L_{\odot}}} = 0.75\ UA$
$d_{externa}$	$1.7 \sqrt{\frac{0.00052 L_{\odot}}{L_{\odot}}} = 0.039\ UA$	$d_{externa}$	$1.7 \sqrt{\frac{1 L_{\odot}}{1 L_{\odot}}} = 1.7\ UA$

- b) Busca en tus cartas los planetas del sistema TRAPPIST-1 que se encuentran en la zona habitable. ¿Coincide que todos los planetas marcados con el símbolo de habitabilidad se encuentran en la zona habitable que calculaste? ¿Si no lo es, a qué crees que se deba?

Según el cálculo realizado sobre la zona de habitabilidad del sistema TRAPPIST-1, esta se encuentra entre **0.0228** y **0.039 UA**. Al analizar el valor del semieje mayor de los planetas de este sistema, los planetas que se encuentran dentro de estos límites son **TRAPPIST-1 d, e y f**. Por otro lado, según las cartas, los planetas **TRAPPIST-1 e, f y g** tienen el símbolo de habitabilidad. Esto indica que hay una discrepancia entre la categorización de habitabilidad calculada y la que aparece en las cartas. Esta diferencia puede deberse a que las ecuaciones utilizadas para calcular la zona habitable son aproximaciones y no consideran todos los parámetros que influyen en la habitabilidad.

#### TALLER 4.

##### Aplicando la 3° Ley de Kepler a sistemas extrasolares

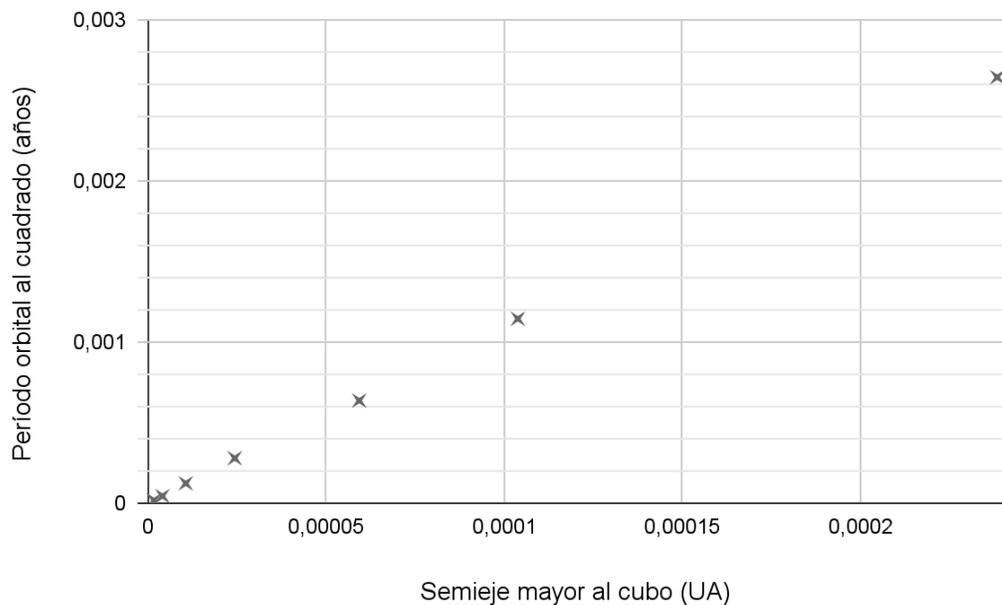
¿Existe una relación de proporcionalidad similar a la de nuestro sistema solar?

**Actividad 4.1. ¿Cómo será el comportamiento de la 3° Ley de Kepler en otros sistemas extrasolares?** 

1. Tabla 4.1. Cálculo del período orbital al cuadrado y semieje mayor al cubo del sistema TRAPPIST-1 con resultados en notación científica.

Nombre exoplaneta	$T$ (días)	$T$ (años)	$a$ (UA)	$T^2$ (años)	$a^3$ (UA)
TRAPPIST-1 b	1.5	4.11E-3	0.011	1.68E-5	1.33E-6
TRAPPIST-1 c	2.4	6.6E-3	0.015	4.4E-5	3.38E-6
TRAPPIST-1 d	4	1.1E-2	0.022	1.21E-4	1.07E-5
TRAPPIST-1 e	6.1	1.67E-2	0.02817	2.79E-4	2.24E-5
TRAPPIST-1 f	9.2	2.52E-2	0.038	6.35E-4	5.5E-5
TRAPPIST-1 g	12.3	3.37E-2	0.047	1.14E-3	1.04E-4
TRAPPIST-1 h	18.77	5.14E-2	0.0620	2.65E-3	2.38E-4

2. El siguiente gráfico muestra al semieje mayor al cubo ( $a^3$ ) medido en unidades astronómicas (UA) en el eje horizontal, y el cuadrado del período orbital ( $T^2$ ) medido en años en el eje vertical. Usando los datos de la tabla, posiciona a cada planeta del sistema TRAPPIST-1 en el gráfico.



3. La 3° Ley de Kepler al ser representada gráficamente, proporciona información de la constante de proporcionalidad  $k$  entre el semieje mayor y el período orbital, que corresponde a la pendiente de la recta. Teniendo en cuenta que los datos graficados son ( $a^3$ ,  $T^2$ ), calcula la constante de proporcionalidad  $k$  para el sistema TRAPPIST-1.

Para ello, calcula la pendiente de la recta. Recuerda que la ecuación para calcular la pendiente de una recta es:  $m = \frac{y_{final} - y_{inicial}}{x_{final} - x_{inicial}}$

Para calcular la pendiente de una recta hay que escoger dos puntos de esta. En este caso se puede escoger cualquier par de planetas del sistema TRAPPIST-1. Escogiendo como punto final de la recta a las coordenadas del exoplaneta TRAPPIST-1 h y como punto inicial las coordenadas del TRAPPIST-1 b, obtenemos:

$$m = \frac{T_{TRAPPIST1-h}^2 - T_{TRAPPIST1-b}^2}{a_{TRAPPIST1-h}^3 - a_{TRAPPIST1-b}^3} = 11.1 \text{ año}^2 / \text{UA}^3$$

La constante de proporcionalidad  $k$  para TRAPPIST-1 es de  $11.1 \text{ año}^2 / \text{UA}^3$

4. La constante de proporcionalidad para nuestro sistema solar es  $k = 1 \text{ año}^2 / \text{UA}^3$  ¿Cómo se compara la constante  $k$  del sistema TRAPPIST-1 con nuestro sistema solar? ¿A qué crees que se debe esta diferencia o similitud en los valores de la constante de proporcionalidad?

La constante de proporcionalidad  $k$  para TRAPPIST-1 es representada por la pendiente de la recta, y equivale aproximadamente a  $k \approx 11 \text{ años}^2 / \text{UA}^3$ . El valor para este sistema extrasolar es mayor en comparación al valor para el Sistema Solar.

#### Actividad 4.2. Calculando la masa de las estrellas anfitrionas de sistemas extrasolares

Preguntas 1 y 2.

Tabla de cálculo de la masa de las estrellas en sistemas extrasolares, usando la conversión  $1 \text{ UA} = 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ ,  $1 \text{ día} = 86400 \text{ s}$ ,  $1 M_{\odot} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$  y la ecuación 6.

Planeta b del sistema	Período orbital (días)	Período orbital (s)	semieje mayor (UA)	semieje mayor (m)	Masa de la estrella ( $M_{\odot}$ )
TRAPPIST-1 b	1.5	129600	0.011	1.65E+9	0.08
GJ 367 b (Tahay)	0.32	27648	0.0071	1.07E+9	0.47
LHS 1140 b	24.7	2134080	0.0957	1.44E+10	0.19
HD 110067 b	0.08	6912	0.08	1.20E+10	0.83
Kepler-438 b	35.2	3041280	0.17	2.55E+10	0.53
Proxima Centauri b	11.2	967680	0.05	7.50E+9	0.13

HR 8799 b	170000	14688000000	68	1.02E+13	1.46
Teegarden's Star b	4.9	423360	0.0252	3.78E+09	0.09

3. Teniendo en cuenta los valores de “Masa de la estrella” de la tabla, responde las siguientes preguntas:

- a) Investiga si los valores obtenidos se aproximan a los valores reales de las estrellas. Para ello puedes usar la página web <https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/> para buscar información.

*Valores reales de las masas de las estrellas de acuerdo con la página “Eyes on Exoplanets” de la NASA:*

$$M_{TRAPPIST-1} = 0.09 M_{\odot}; M_{GJ\ 367} = 0.46 M_{\odot}; M_{LHS\ 1140} = 0.18 M_{\odot};$$

$$M_{HD\ 110667} = 0.8 M_{\odot}; M_{Kepler-438} = 0.54 M_{\odot}; M_{Prox\ Cen} = 0.12 M_{\odot};$$

$$M_{HR\ 8799} = 1.51 M_{\odot}; M_{Teegarden's\ star} = 0.1 M_{\odot}.$$

- b) ¿Cuál es el sistema con la estrella más masiva?

*La estrella más masiva es HR 8799 con 1.52 masas solares.*

- c) ¿Cuál es el sistema con la estrella menos masiva?

*El sistema TRAPPIST-1 y Teegarden's Star tienen la estrella menos masiva, con una masa de 0.09 masas solares.*

- d) ¿Cuántas veces es la masa de la estrella más masiva en comparación a la más pequeña?

*La relación entre la estrella más masiva y la menos masiva es 17.*

- e) Teniendo en cuenta la masa de cada planeta junto con los datos de la masa de la estrella, el período orbital y el semieje mayor, ¿Hay alguna relación entre estas variables?

*La ecuación 6 muestra que la masa de la estrella es directamente proporcional a  $4\pi^2$  y al cubo del semieje mayor, e inversamente proporcional a la constante de gravitación universal  $G$  y al cuadrado del período orbital del planeta.*

- f) Considerando el valor de la constante de proporcionalidad del sistema TRAPPIST-1 y la masa calculada de su estrella. ¿Cuál es la relación entre la constante  $k$  y la masa de la estrella? ¿Cómo justificarías el valor para TRAPPIST-1 basándote en tu conclusión?

*Al combinar la ecuación 4 y 5 se logra apreciar que la constante  $k$  es inversamente proporcional a la masa de la estrella, por lo que, a menor masa de la estrella, mayor será el valor de la constante de proporcionalidad, lo que explicaría las diferencias de valor entre los sistemas extrasolares.*

---

### Actividad 4.3. Exoplanetas especiales

1. El exoplaneta GJ 367 b (Tahay) es especial porque:

*Es el planeta rocoso más pequeño descubierto hasta la fecha, orbita su estrella a una distancia tan cercana que completa una vuelta en solo 7 horas. Esta rápida órbita, que equivale a un año en GJ 367 b, le ha valido un nombre especial: el año 2022 fue bautizado en honor a la Tahay, una pequeña flor chilena que florece solo 7 horas al año. El planeta Tahay orbita a la estrella llamada Añañuca. Este sistema extrasolar fue nombrado por el equipo del Núcleo Milenio YEMS en el concurso "Name exoworlds" de la Unión Internacional de la Astronomía. ¡Un gran hito para la astronomía chilena!*

2. El exoplaneta 51 Pegasi b (Dimidio) es especial porque:

*Fue el primer exoplaneta descubierto que orbita una estrella tipo Sol. Fue descubierto en el año 1995 y con ello comenzó una nueva era sobre el estudio de los planetas extrasolares.*

3. El exoplaneta Proxima Centauri b es especial porque:

*Es el exoplaneta rocoso más cercano a la Tierra ubicado en la zona habitable. Orbita a la estrella Proxima Centauri, la estrella más cercana a nuestro sistema solar, ubicada a 4.23 años luz de distancia.*