Problema Nº 1

Utilizando a Galileo* como guía en el "Camino de Santiago"

Los astrónomos han observado que nuestro sistema solar, que se formó hace 5000 millones de años, se encuentra situado a: $R_S = 25000$ años–luz del centro de la galaxia (llamada Vía Láctea o "Camino de Santiago"), moviéndose a una velocidad orbital de: $v_S = 230$ km/s.

Suponiendo que el sistema solar se comporta como si fuese puntual y que sigue una órbita circular respecto del centro de la galaxia (donde, a todos los efectos se encuentra concentrada toda la masa de la misma), que 1 año–luz es la distancia que recorre la luz en el vacío durante un año y que la masa del sistema solar es aproximadamente la del Sol, que vale: $M_S = 1{,}99 \cdot 10^{30}$ kg, calcule:

a) El periodo de la órbita del sistema solar en su recorrido.
b) ¿Cuántas órbitas ha completado desde que se formó?
c) La masa situada en el centro de nuestra galaxia.
d) ¿Cuántas estrellas hay en la galaxia, aceptando que todas tienen una masa como la del Sol?
e) ¿Cuál sería la velocidad de escape para que el sistema solar abandonara la Vía Láctea?

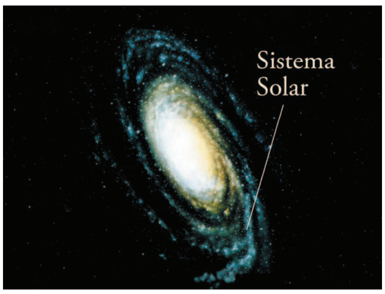
Constantes Físicas:

Constante de gravitación universal: $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2 / kg^2}$

Velocidad de la luz en el vacío: $c_0 = 3 \cdot 10^8\ \mathrm{m/s}$

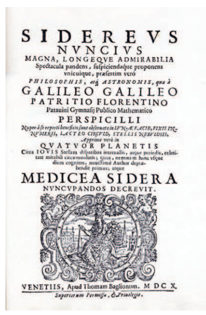
Notas históricas y mitológicas:

El nombre **Vía Láctea** proviene de la mitología griega, que intentaba explicar la apariencia de la banda de luz que rodea el firmamento alegando que se trataba de la leche derramada por el pecho de la diosa Hera cuando amamantaba a Heracles (en la foto el cuadro de Rubens), que era hijo de su marido Zeus y de Alcmena (hija del rey Electrión de Micenas y esposa de Anfitrión), quien se aprovechó de ella adoptando la apariencia de su marido durante la ausencia de éste.
En otras culturas ese haz blanco está asociada a otros caminos celestiales: Los vikingos creían que llevaba al Valhalla (destino de las almas de los muertos), mientras que los celtas aseguraban que se dirigía al castillo de la Reina de las Hadas. En España, la Vía Láctea recibe el nombre popular de **"Camino de Santiago"**, pues era usada como guía por los peregrinos a "Finis terrae" (el fin del mundo). En las mitologías china y japonesa, se refieren a ella como un río de plata celestial



Sin embargo, ya en la Antigua Grecia **Demócrito (460–370 a.C.)** sugirió que, aquella borrosa banda de luz blanca que se veía en el cielo por la noche, era en realidad un conglomerado de muchísimas estrellas, pero también afirmó que dichas estrellas eran demasiado tenues individualmente (estaban demasiado lejos) para ser reconocidas a simple vista. Su idea, no obstante, no halló respaldo, hasta que en el año 1609 **Galileo Galilei (1564–1642 d.C.)** construyó un telescopio con el que observó el cielo y comprobó que Demócrito estaba en lo cierto, ya que adonde quiera que mirase, aquél se encontraba lleno de estrellas indiscernibles por el ojo humano.
Hoy sabemos, pues, que dicha banda de luz se corresponde con lo que se ha dado en denominar disco galáctico (la región de nuestra Galaxia espiral, en la dirección de la constelación de Sagitario, que aparece más brillante y en la que se encuentran la mayoría de sus estrellas). Por ello con frecuencia se usa el nombre de Vía Láctea para referirse a nuestra Galaxia en su conjunto, distinguiéndola de las demás galaxias.

(*) *È infatti la GALASSIA nient'altro che una congerie di innumerevoli Stelle, disemínate a mucchi; ché in qualunque regione di esa si diriga il cannonchiale, subito una ingente folla di Stelle si presenta alla vista, delle quale parecchie si vedono abbastanza grandi e molto distinte; ma la moltetudine delle piccole è del tutto inesplorabile*
De hecho la GALAXIA no es otra cosa que una congregación de innumerables estrellas diseminadas en grupos; que, en cualquier región a la que se dirija el telescopio, una ingente multitud de estrellas se presenta a la vista de repente, de las cuales algunas se ven suficientemente grandes y distintamente; pero la multitud de las pequeñas es del todo inexplorable.
F. Brunetti: Galileo. ***Opere. I. Sidereus Nuncius (el Mensajero sideral. Venecia. 1610)*.**
(Citado por: Mariano Moles Villamate (coord.) "Claroscuro del Universo". Colección divulgación. CSIC. Madrid, 2007)



SIDEREVS
NVNCIVS
MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens
vnicuique, præsertim verò
PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quæ à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO
Patauini Gymnasij Publico Mathematico
PERSPICILLI
Nuper à se reperti beneficio sunt obseruata in LVNÆ FACIE, FIXIS INNVMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBVLOSIS,
Apprime verò in
QVATVOR PLANETIS
Circa IOVIS Stellam disparibus interuallis, atque periodis, celeritate mirabili circumuolutis; quos, nemini in hanc vsque diem cognitos, nouissimè Author depræhendit primus; atque
MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.
VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M DC X.
Superiorum Permissu, & Priuilegio.

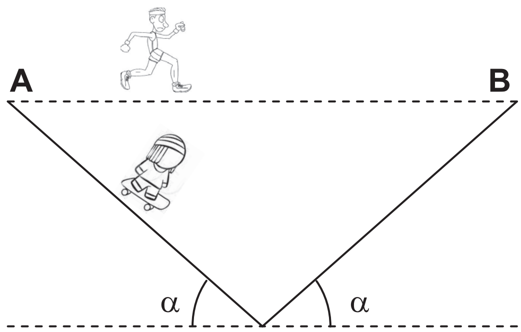
Problema Nº 2

Surfeando en la ola gravitatoria

(Aprovechando la honda gravitatoria)

Jaime es un alumno interesado por la física que además es, según su círculo social (que él llama *'la peña'*), un habilidoso *skater*. Su profesor le ha explicado que el envío de sondas espaciales, más allá del sistema solar, se hace gracias a la llamada *honda gravitatoria* que supone el paso de la sonda por las inmediaciones de un superplaneta como Júpiter. La sonda aprovecha la energía gravitatoria asociada a Júpiter para acelerarse por este paso y tiene un efecto importantísimo: acorta sensiblemente la duración del viaje. Por ello, ha pensado que quizás pueda aprovechar algo parecido en sus desplazamientos con el *monopatín*.

A tal efecto dispone de una doble rampa simétrica de inclinación variable (ángulos α), que salva una distancia total horizontal de **20 m** desde el punto **A** que inicia el descenso hasta el **B** de subida a la misma altura. Para simplificar, supondremos esta doble rampa como un doble plano inclinado: uno descendente y otro ascendente. Su *monopatín* es tan bueno que es capaz de rodar sin pérdidas por rozamiento, por lo que cuando inicia el descenso por la primera rampa, consigue subir en la segunda a la misma altura de la que partió.



(Consideraremos, también, que la transición de la rampa descendente a la ascendente se realiza con la suficiente continuidad).

Pregunta A: Demuestra que el ángulo de dichas rampas que hace mínimo el tiempo de deslizamiento completo por ellas es el de **45º**.
Sugerencia: calcula el tiempo de caída por la primera rampa bajo un ángulo α cualquiera.
Pregunta B: ¿Cuánto valdrá este tiempo?

(**Nota 1**: tomaremos $\mathbf{g = 10\ m/s^2}$)

Lucas es un amigo de Jaime que prefiere practicar las carreras de medio fondo. Jaime quiere saber si Lucas será más rápido recorriendo los **20 m** horizontales a su ritmo habitual, mientras él los recorrerá bajando por la doble rampa con el ángulo de **45º**. Lucas es un buen corredor y hace **1 km** en **3 minutos y 20 s**.
Pregunta C: Suponiendo que Jaime inicia el descenso por la rampa en el momento que Lucas llega a su altura, ¿quién llega antes al punto final de la rampa?

(**Nota 2**: Lucas corre siempre en horizontal)

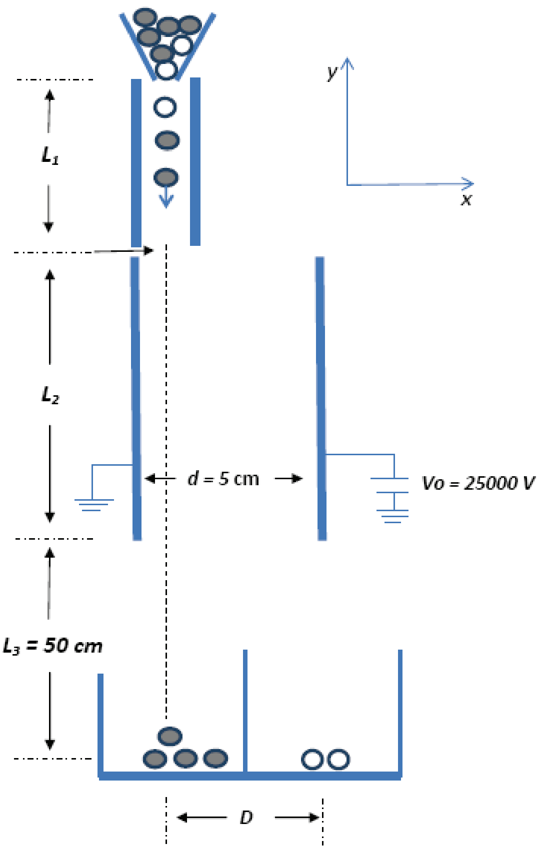
Sorprendido por el resultado obtenido, Jaime quiere saber en cuánto adelantaría a Lucas si iniciara el descenso con su misma velocidad.
Pregunta D: ¿Cuál sería, en este caso, la posición horizontal de Lucas justo en el momento que Jaime terminara de subir la segunda rampa? ¿Cuánto tiempo habrá invertido Jaime en realizar el desplazamiento?

(**Nota 3**: como en el caso anterior, ambos amigos salen de **A** en el mismo instante)

Problema Nº 3

Separador de Semillas Electrostático

Las semillas normales se pueden separar de las descoloridas y de otros objetos extraños empleando para ello el denominado **selector de semillas electrostático**. Este dispositivo, esquematizado en la figura adjunta, cuenta con una tolva en su parte superior desde donde se dejan caer una a una las semillas a tratar. Posteriormente pasan por un tubo en cuyo extremo inferior se colocan un par de fotocélulas que analizan el color y textura de cada semilla. Si el color no es el adecuado, se aplica un potencial a una punta que deposita una carga q en la semilla, mientras que si es correcto la semilla pasa por este punto sin cargarse. A continuación las semillas se hacen pasar entre dos placas conductoras paralelas separadas una distancia d y conectadas a una diferencia de potencial V que desvía las semillas cargadas (defectuosas) de forma que caigan en un depósito diferente. Los depósitos de ambos tipos de semillas se encuentran a nivel del suelo justo por debajo de este dispositivo.



Consideraremos el proceso para cada semilla dividido en tres fases. **Fase 1**: semilla cayendo por el interior del tubo superior. **Fase 2**: semilla transitando entre las placas conductoras. **Fase 3**: semillas cayendo desde el extremo inferior de las placas hasta el correspondiente depósito.

a) Describe cualitativamente la trayectoria y tipo de movimiento que seguirán a lo largo de este dispositivo las semillas normales y las semillas defectuosas. Dibuja el diagrama de fuerza en cada fase.

b) Para que el sistema de análisis y carga de las semillas funcione correctamente, dichas semillas deben llegar al extremo inferior del tubo separadas una distancia de **2 cm**. Si las semillas **se introducen con velocidad nula por su extremo superior** uniformemente espaciadas en el tiempo y a razón de **100 por segundo**, calcule la longitud L_1 del tubo para que el sistema funcione correctamente.

c) Si las semillas tienen una masa m **= 0,25 mg**, adquieren una carga q **= 1,5 x 10^{-9} Culombios**, las placas deflectoras paralelas están separadas una distancia d **= 5 cm** y la diferencia de potencial aplicada entre ellas es V_0 **= 25000 Voltios**, calcular la longitud L_2 de las placas para que las semillas cargadas se desvíen una distancia de **4 cm** al abandonar el borde inferior de dichas placas.

d) Si la distancia entre la zona de placas y los depósitos en el suelo es L_3 **= 50 cm**, calcule la desviación final D respecto a la vertical de las semillas desechables al llegar al suelo.

Nota: Suponer que la zona de las placas deflectoras comienza inmediatamente después del tubo inicial de caída incluyendo el sistema de fotocélulas de análisis y punta de carga. Despréciese en todo momento la resistencia del aire. Tome un sistema de referencia como el indicado en la figura.

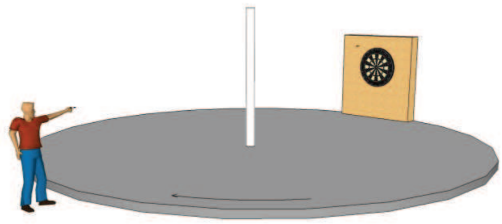
Problema Nº 4

Lanzamiento de dardos

De todos es sabido que los deportes incluidos en los Juegos Olímpicos tienen un interés especial. Por otra parte, estos deportes deben de ser lo suficientemente complicados para que resulten interesantes para los espectadores.

El lanzamiento de dardos no es aún deporte olímpico (sí lo es sin embargo el tiro con arco, que podría considerarse un lanzamiento mecánico de dardos). Veamos cómo podemos complicar este juego para aumentar su interés.

Lo primero que se nos ocurre es **hacer que la diana se mueva**. Para ello construimos un **tiovivo** como el de la figura. El tirador (profesional) se encuentra en reposo en el suelo y lanza el dardo de forma muy certera cuando ve pasar la diana por el punto opuesto del tiovivo al que se encuentra él.

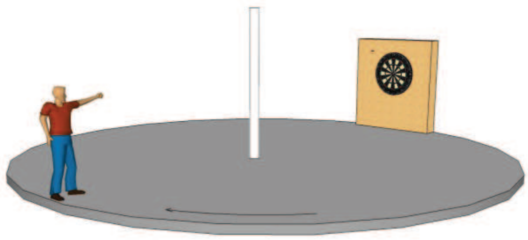


En todos los casos, para simplificar, supondremos que el dardo sólo se mueve horizontalmente, es decir, que **despreciamos la aceleración de la gravedad**. El tiovivo tiene un diámetro de **2,37 m** (la distancia reglamentaria) y el tirador lanza el dardo a una velocidad (siempre horizontal) de **2 m/s**. El tiovivo **gira** a razón de **una vuelta cada 5 segundos**.

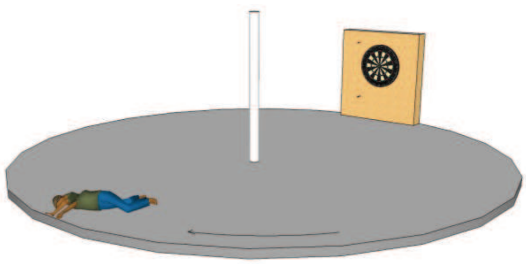
1.a.- Calcular a qué distancia del centro de la diana se clavará el dardo.

1.b.- Si corrige el tiro para dar en la diana, ¿pasará el dardo por el eje del tiovivo? Analizar las distintas posibilidades.

2.- El problema es que la diana se mueve respecto del tirador. Podemos modificar un poco las reglas para evitarlo. Ahora el tirador se encuentra sobre el tiovivo, girando con él, en un punto diametralmente opuesto a la diana, que, para él, se encuentra en reposo. Si lanza el dardo apuntando directamente a la diana, ¿a qué distancia de ésta se clavará ahora el dardo? ¿Pasará ahora por el centro del tiovivo?



3.- Dado que todo deporte tiene sus riesgos, ¿podría darse el caso, aún remoto, de que el dardo lanzado horizontalmente impactara en el propio lanzador?



Problema Experimental

Tensión Superficial

La tensión superficial es una propiedad de la superficie libre de los líquidos que les permite resistir una fuerza externa. La observamos, por ejemplo, en que una aguja de acero puede flotar en el agua y algunos insectos caminan sobre ella sin hundirse. También la observamos en la formación de gotas durante la caída de un líquido y en la formación de meniscos cuando un líquido está en el interior de un recipiente capilar. Esta propiedad tiene su causa en la **fuerza de cohesión** de las moléculas del líquido. En el interior del líquido las moléculas reciben fuerzas de las demás en todas las direcciones de sus vecinas, resultando una fuerza neta igual a cero. Las moléculas de la superficie no tienen a su alrededor moléculas iguales en todas las direcciones y reciben por lo tanto una fuerza neta hacia el interior del líquido. Esto crea una presión interna y obliga a la superficie del líquido a contraerse y presentar un área mínima. En términos de energía las moléculas del interior, en contacto con sus vecinas, tienen una energía menor que si estuviesen solas, pero las de la superficie tienen menos vecinas comparadas con las del interior y por lo tanto tienen más energía. Para que el líquido minimice su energía tiene que hacer mínima su superficie.

La tensión superficial se representa por el **símbolo** γ y se define como la fuerza a lo largo de una línea de **1 m** de longitud, cuando la fuerza es paralela a la superficie pero perpendicular a la línea. En el S.I. su unidad es por tanto el **N/m**. También se usa la **dina/cm** (Sistema CGS. Una **dina** es la fuerza que aplicada a una masa de un gramo le imprime una aceleración de un centímetro por segundo al cuadrado). Una definición equivalente, muy útil en termodinámica, es que la tensión superficial es el trabajo realizado por unidad de área. Es decir, para aumentar una cantidad δA una superficie necesitamos realizar un trabajo $\gamma\,\delta A$, el cual queda almacenado como energía potencial. En el S.I. puede medirse también en J/m^2. En el Sistema CGS su unidad será el **ergio/cm^2** (un **ergio** es el trabajo de la fuerza de una **dina** cuando se desplaza **1 cm** paralela a sí misma).

Los fenómenos de tensión superficial son muy importantes en muchos aspectos de la vida cotidiana, así por ejemplo cuando pretendemos lavar la ropa es necesario que el agua penetre entre las fibras del tejido, pero el entramado del mismo es como una red capilar que ofrece resistencia a ser mojada; por tanto, el estudio de la variación de la tensión superficial del agua con diferentes factores como la adición de sustancias o la temperatura es de máximo interés.

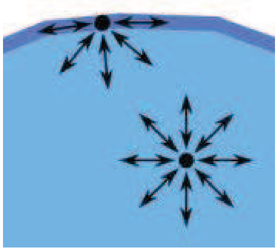
El primero en darse cuenta de que **la tensión superficial del agua depende de la temperatura** de la misma fue **Loránd Eötvös (1848–1919).** *Este científico pertenecía a la alta aristocracia húngara y como se esperaba de él estudió leyes, lo cual no le satisfizo. En 1867 ingresó en la Universidad de Heidelberg (Alemania) donde estudió Física, Química y Matemáticas; fue alumno de famosos profesores como Kirchhoff, Bunsen y Helmholtz. Sus investigaciones como científico se desarrollaron en el campo de la capilaridad, la gravitación y el magnetismo. Trataba todos los aspectos del problema, primero ordenaba la base teórica, luego diseñaba y construía los instrumentos y la metodología de los experimentos; entonces hacía las medidas en el laboratorio y finalmente sacaba las conclusiones de sus medidas. Perfeccionó la balanza de torsión, haciéndola increíblemente sensible, por lo cual es tremendamente útil en las prospecciones geológicas; cientos de pozos de petróleo de USA en los 1920 y 1930 fueron descubiertos con ella. Estudió la diferencia entre la masa inerte y la gravitatoria determinando que era como mucho 1 parte en 200.000.000, (estos trabajos fueron mencionados por Einstein en su elaboración de la Teoría de la Relatividad). Estudiando el valor de la gravedad en el océano descubrió el efecto que lleva su nombre, a saber, la fuerza de la gravitación percibida viene afectada por el cambio en la aceleración centrípeta debida al movimiento del barco según sea su velocidad hacia el este o hacia el oeste; perfeccionó sus instrumentos y pudo detectar una variación de 1 cm en el nivel del Danubio en una distancia de 100 m. En el Sistema CGS la unidad de gradiente gravitacional lleva el nombre de eötvös en su honor.*

Fue un hombre muy equilibrado, además de su intenso trabajo intelectual siempre encontró tiempo para la relajación y el deporte. Era aficionado a la fotografía. Habitualmente andaba, y montaba a caballo o paseaba en bicicleta, pero su gran pasión era la montaña donde estuvo entre los mejores alpinistas; en 1902 un pico de 2837 m en los Alpes Dolomites, al sur del Tirol (Italia) fue llamado Cima de Eötvös.

En cuanto a la dependencia de la tensión superficial con la temperatura, en 1886 **Eötvös** propuso la siguiente ecuación empírica:

$$\gamma V^{2/3} = k (T_c - T) \qquad \textbf{ecuación (1)}$$

Siendo **V** el volumen molar (masa molar dividida por la densidad del líquido); T_c la temperatura crítica (temperatura por encima de la cual un gas no puede licuarse sometiéndolo a altas presiones), **k** una constante válida, en principio, para todos los líquidos (denominada constante de Eötvös) y **T** la temperatura del líquido en Kelvin.



Los **métodos de medida de la tensión superficial** son muy diversos. Uno de ellos es el **anillo de Noüy**, que consiste en medir la fuerza vertical **F** necesaria para despegar un anillo de radio **R** de un líquido. En este caso, la tensión superficial viene dada por **F/4πR**. La tabla siguiente recoge los valores de la tensión superficial del agua para diferentes temperaturas.

TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

γ (dinas/cm)	74’2	72’8	71’2	69’6	67’9	66’2
t (ºC)	10	20	30	40	50	60

MÉTODO EXPERIMENTAL:

1º.- Halla la equivalencia entre el **N/m** y la **dina/cm** y entre el **J/m^2** y el **ergio/cm^2**.

2º.- Representa en papel milimetrado los datos de la Tabla, **expresando la temperatura en la escala Kelvin**. A continuación traza con una regla la recta que mejor se ajuste a dichos datos.

3º.- De la gráfica obtenida determina la pendiente y la ordenada en el origen de la recta y expresa los valores en el S.I.

4º.- Teniendo en cuenta que la **ecuación (1)** puede escribirse como:

$$\gamma = (k / V^{2/3}) T_c - (k / V^{2/3}) T \qquad \textbf{ecuación (2)}$$

Determina el valor de **k en unidades del S.I.** (usa para ello el valor de **la ordenada en el origen** obtenida**).**

(Recuerda que, para el agua líquida: **V= 18 cm^3/mol y t_c = 374ºC**)

5º.- Realmente el valor de **k** no es igual para todos los líquidos, ya que está influido por la asociación o disociación de las moléculas del líquido. Valores por debajo del anterior indican asociación de moléculas, mientras que por encima indican disociación. La **ecuación (2)** se puede escribir como:

$$\gamma = (k / V^{2/3}) T_c - (k' / V^{2/3}) T \qquad \textbf{ecuación (3)}$$

Determina el valor de **k’ en unidades del S.I. (**usa ahora el valor de **la pendiente de la recta** obtenida).

Prueba Teórica nº1. Solución. Autor: José Carlos Cobos (Univ. de Valladolid)

a) Obviamente, el radio de la órbita (supuesta circular) del Sol es:

$$R_S = 25000 \text{ años–luz } = c_0 \cdot 25000 \text{ años}$$

$$R_S = \left[3\cdot 10^8\right] \times 25000 \times \left(365\times 24\times 3600\right) \text{ m } = 2{,}37\cdot 10^{20} \text{ m}$$

Así, como:

$$\mathrm{v}_S = \omega \cdot R_S = \frac{2\cdot\pi}{T_S}\cdot R_S = 230 \text{ km/s} = 2{,}3\cdot 10^5 \text{ m/s} = 828.000 \text{ km/h}$$

El periodo de la órbita del sistema solar en su recorrido alrededor del centro de la galaxia (Vía Láctea o "Camino de Santiago"), vale:

$$T_S = \frac{2\cdot\pi\cdot R_S}{\mathrm{v}_S} = \frac{2\cdot\pi\cdot 2{,}37\cdot 10^{20} \text{ m}}{2{,}3\cdot 10^5 \text{ m/s}} = 6{,}46\cdot 10^{15} \text{ s}$$

$$T_S = 2{,}05\cdot 10^8 \text{ años} = 205 \text{ millones de años}$$

b) Según el enunciado, el sistema solar se formó hace:

$$t_S = 5000 \text{ millones de años} = 5\cdot 10^9 \text{ años} = 1{,}58\cdot 10^{17} \text{ s},$$

de forma que podemos calcular cuántas órbitas ha completado desde que se formó, en la forma:

$$\text{nº órbitas (recorridas)} \equiv n_{\text{órbitas}} = \frac{\text{edad del Sol}}{\text{periodo orbital}} = \frac{t_S}{T_S} = \frac{1{,}58\cdot 10^{17}}{6{,}46\cdot 10^{15}} = 24{,}4$$

c) Al aplicar la segunda ley de Newton a la fuerza gravitatoria central que determina la trayectoria de los astros, se obtiene que la velocidad lineal (orbital) en las órbitas circulares cumple que:

$$G\cdot\frac{M_G\cdot M_S}{R_S^2} = M_S\cdot\frac{\mathrm{v}_S^2}{R_S}$$

$$M_G = \frac{\mathrm{v}_S^2\cdot R_S}{G} = \frac{\left[2{,}3\cdot 10^5\right]^2\times 2{,}37\cdot 10^{20}}{6{,}67\cdot 10^{-11}} \text{ kg} = 1{,}88\cdot 10^{41} \text{ kg}$$

d) De manera trivial, el número de estrellas que hay en la galaxia, aceptando que todas ellas tienen una masa como la del Sol, sería:

$$\text{nº estrellas } \equiv N_{\text{estrellas}} = \frac{\text{masa - galaxia}}{\text{masa - sol}} = \frac{M_G}{M_S} = \frac{1{,}88\cdot 10^{41}}{1{,}99\cdot 10^{30}} = 9{,}43\cdot 10^{10} \text{ estrellas}$$

$$\text{nº estrellas } \approx 100.000 \text{ millones de estrellas}$$

e) La energía del sistema solar en su órbita alrededor del centro de la galaxia será la suma de sus energías cinética y potencial; es decir:

$$E_S = E_{c,S} + E_{p,S} = \frac{1}{2}\cdot M_S\cdot \mathrm{v}_S^2 - G\cdot\frac{M_G\cdot M_S}{R_S} = -\frac{1}{2}\cdot G\cdot\frac{M_G\cdot M_S}{R_S}$$

Que usaremos para calcular su velocidad de escape pues, para que el sistema solar alcance el infinito con velocidad nula, partiendo desde una distancia R_{S} del centro de la galaxia, deberá cumplirse que:

$$E_{\infty} == E_{\mathrm{c,S}}(\mathrm{v}_{\mathrm{S}}^{*}=0)+E_{\mathrm{p,S}}(R_{\mathrm{S}}^{*}=\infty)=0=\frac{1}{2}\cdot M_{\mathrm{S}}\cdot \mathrm{v}_{\mathrm{escape,S}}^{2}-G\cdot\frac{M_{\mathrm{G}}\cdot M_{\mathrm{S}}}{R_{\mathrm{S}}}$$

$$\mathrm{v}_{\mathrm{escape,S}}=\sqrt{\frac{2\cdot G\cdot M_{\mathrm{G}}}{R_{\mathrm{S}}}}=\sqrt{\frac{2\times 6,67\cdot 10^{-11}\times 1,88\cdot 10^{41}}{2,37\cdot 10^{20}}}\ \mathrm{m/s}=3,25\cdot 10^{5}\ \mathrm{m/s}$$

$$\mathrm{v}_{\mathrm{escape,S}}=325\ \mathrm{km/s}\approx 1,17\cdot 10^{6}\ \mathrm{km/h}\ \ (1.171.000\ \mathrm{km/h})$$