

Diseño de Sistemas Solares

En los juegos de rol de ciencia ficción, donde nuestros intrépidos personajes se adentran en las profundidades del espacio desconocido a veces es necesario poder definir un sistema solar cualquiera. En muchos casos el modulo que hemos conseguido sólo describe el planeta al que van los jugadores desinteresándose del resto del sistema estelar. También puede ser que el master quiera definir un sistema de vez en cuando o que se invente una aventura de exploración. Existen varios programas que nos pueden ayudar pero entonces se han de preparar los sistemas antes de la partida. Claro que el uso de tablets y demás pueden solucionar esto pero yo prefiero el método "manual" donde se tiran unos cuantos dados y se hacen algunos cálculos sencillos.

La Temperatura Superficial de la Estrella

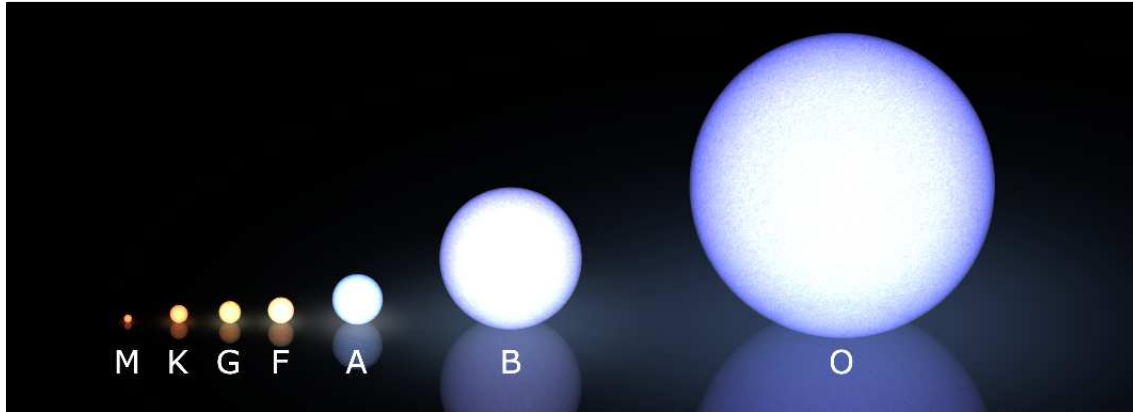
El primer paso es saber la temperatura superficial de la estrella. En realidad tanto la masa como la temperatura y el radio de la estrella están relacionados. Pero esa relación depende de si estamos en la secuencia principal de la evolución estelar o en otra rama. Aquí iremos por lo sencillo, supondremos que estamos en la secuencia principal. Si algún master requiere una estrella especial siempre puede imponer su necesidad a la tirada de dados, pero si prefiere ajustarse a las leyes de la probabilidad podemos aplicar la siguiente tabla.

Clase	Fracción	D100	Temperatura	Masa	Radio	
O	0.00003%	100	100	5,7	60	15,0
B	0,13%		87 - 99	3,7	18	7,0
A	0,60%	99	1,5	3,1	2,1	
F	3%	96 - 98	1,2	1,7	1,3	
G	7,60%	88 - 95	1,0	1,1	1,1	
K	12,10%	80 - 87	0,8	0,8	0,9	
		76 - 80	0,7	0,6	0,7	
M	76,45%	51 - 75	0,6	0,5	0,6	
		26 - 50	0,5	0,4	0,5	
		01 - 25	0,4	0,3	0,4	

El tipo espectral se corresponde con la temperatura superficial de la estrella. Podemos ver la abundancia del tipo de estrella correspondiente a ese tipo espectral en la columna Fracción. Y también podemos ver los valores de Temperatura, Masa y Radio promedios respecto al Sol (Valor del Sol = 1). Para utilizar la tabla se tira un D100 y se consulta: para valores menores de 100 tenemos el tipo directamente. Si se saca un 100 se vuelve a tirar y si vuelve a

salir un 100 entonces será de tipo O, si el resultado está entre 87 y 99 de tipo B y si se saca menos entonces se vuelve a hacer la tirada desde el principio.

Como se puede ver es casi imposible que nos salga un tipo O o B. Las estrellas más abundantes del universo son las enanas rojas, tipo M. Nuestro sol es una estrella del tipo G2, no abundante pero tampoco rara:



Estrellas Múltiples

La probabilidad de estrellas binarias en el universo es elevada. Un tercio de las estrellas son binarias. Para simular esto podemos hacer una tirada de 1D6: De 1 a 4 la estrella es sencilla. De 5 a 6 es binaria pero si sale 6 se vuelve a tirar: si entonces sale 5 o 6 es terciaria. Este proceso se puede seguir indefinidamente, es decir: si sale u 6 se vuelve a tirar y se van acumulando estrellas mientras vaya saliendo 6.

La distancia entre estrellas múltiples parece ser muy variable. Para simularlo podemos hacer una tirada de 4D6, volviendo a tirar si sale 1 o 6. Si es 6 se suma y si es 1 se resta. El resultado es el número de órbita tipo planeta exterior en la ecuación correspondiente al sistema de la estrella primaria. Si la estrella binaria está muy cerca de la primaria puede eliminar órbitas planetarias. Se eliminan todas aquellas que estén cerca (2 ua) de la distancia media entre las estrellas.

Factor de Variación

Para dar un poco de variabilidad a los resultados he preparado una tabla de variación muy centrada en el valor promedio usando una tirada de 4D6 (la suma de 4 dados de 6).

Factor de Variabilidad	
4D6	Factor
4	0,90
5	0,91
6	0,92
7	0,93
8	0,94
9	0,95
10	0,96
11	0,97
12	0,98
13	0,99
14	1,00
15	1,01
16	1,02
17	1,03
18	1,04
19	1,05
20	1,06
21	1,07
22	1,08
23	1,09
24	1,10

El resultado se multiplica por el valor de temperatura, masa y radio. Se puede hacer una tirada diferente para cada caso si se quiere aunque al estar los tres valores relacionados es mejor utilizar el mismo factor.

Línea de Congelamiento

El sistema solar se formó a partir de una nebulosa planetaria que se condensó formando el Sol y los planetas. En ese momento había una distancia respecto a la estrella en la que ciertos materiales como el agua, el óxido de carbono, el amoníaco y el metano estaban a una temperatura lo suficientemente baja como para formar sólidos granos de hielo. Antes de esa distancia las agrupaciones eran de materiales más densos, como los metales y las partículas minerales. Más allá de esa distancia los núcleos formados fueron de hielo y por tanto su densidad fue menor. Por eso podemos diferenciar los planetas interiores, de núcleo rocoso y de mayor densidad, de los exteriores, mucho menos densos.

El valor de esa distancia, u órbita, se puede calcular teóricamente a partir del dato de temperatura a la que esos materiales congelan, 150 K, y teniendo en cuenta que la energía emitida por el Sol es absorbida en parte por ese material para llegar a esa temperatura. Para ello se puede utilizar la formulación de la ley del "cuerpo negro" e igualar la potencia emitida con la absorbida (http://en.wikipedia.org/wiki/Black-body_radiation). De todo ello obtenemos la siguiente ecuación:

$$D_p = R_s/2 \times (T_s/T_p)^2 \times \sqrt{(1-\alpha)/\epsilon}$$

Donde D_p es la distancia orbital que buscamos, R_s el radio del Sol, T_s la temperatura del Sol, T_p la temperatura de la partícula (150 K), α el valor del albedo para esa partícula (la parte de energía reflejada por la partícula) y ϵ la emisividad de la partícula (la energía emitida por la partícula al calentarse). Todos los datos los conocemos bien menos el del albedo y la emisividad. Como ejemplo el albedo de la Luna es de 0,1 y el de la Tierra de 0,3. La emisividad de la Luna es de 0,95 y la de la Tierra 0,6. Es decir: la cosa varía mucho entre un material y otro. Por suerte del estudio de la formación del sistema solar se ha establecido que la línea de congelamiento solar está a 2,7 ua. Lo que coincide con la órbita media de nuestro cinturón de asteroides.

(ver: http://lasp.colorado.edu/education/outerplanets/solsys_planets.php)

Como las incógnitas que teníamos: el albedo y la emisividad, sólo dependen del material y éste es el mismo en la formación de cualquier sistema solar, podemos seguir ese criterio para calcular la línea de congelamiento de otros sistemas solares con la siguiente ecuación:

$$D(\text{línea de congelamiento}) = R_s \times T_s^2 \times 2,7$$

Donde la R_s y la T_s son el radio y la temperatura de la estrella expresadas en múltiplos del sol y la D esta expresada en unidades astronómicas. Se puede definir una zona de congelamiento como:

- Línea de congelamiento inferior: 0,7 x L_c
- Línea de congelamiento superior: 1,5 x L_c

También considero una segunda línea de congelamiento correspondiente a la temperatura de fusión del nitrógeno (63 K) y que separaría los planetas exteriores tipo gigante de gas (Júpiter y Saturno) de los tipo Urano y Neptuno que sería:

$$D(\text{2ª línea de congelamiento}) = R_s \times T_s^2 \times 15$$

De esta manera divido los planetas exteriores en dos grupos: el A, donde se pueden formar gigantes gaseosas y el B, donde se forman los gigantes helados.

Zona Habitable

La zona habitable alrededor de una estrella se supone que es la franja entre dos órbitas en las que es posible la formación de agua líquida. Para ello podríamos pensar que tan solo hay que calcular la temperatura superficial de los planetas que tendría que estar entre 0 y 100°C. Y para ello podríamos utilizar el mismo criterio que antes para encontrar los planetas cuya superficie cumpliera ese requisito. Pero aquí nos encontramos con el problema de que la atmósfera juega un papel muy importante, no sólo en el valor del albedo y la emisividad sino también en la presión atmosférica que hace variar el punto de ebullición del agua y en el efecto invernadero que sobrecalentaría la superficie por encima del valor obtenido inicialmente. Todo ello hace muy difícil esa aproximación. En vez de eso se prefiere utilizar el valor de la Luminosidad de la estrella.

Para obtener el valor de la Luminosidad a partir de los datos obtenidos en la primera tabla podemos utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{Luminosidad (estrella)} = R_s^2 \times T_s^4$$

Donde la luminosidad esta expresada en múltiplos de la solar y el R_s y T_s son el radio y la temperatura de la estrella expresadas en múltiplos solares. La zona habitable se calcula por analogía con el sistema solar como:

- Límite inferior = $0,7 \times \sqrt{\text{Luminosidad}}$
- Valor Central = $\sqrt{\text{Luminosidad}}$
- Límite Superior = $1,5 \times \sqrt{\text{Luminosidad}}$

Órbitas Planetarias

Hasta este momento todo lo explicado es acorde con lo conocido y se ha desarrollado siguiendo las leyes de la física aplicadas a la astrofísica. Pero para suponer las órbitas planetarias no tenemos datos en que basarnos más que los de nuestro sistema solar. Aquí propongo un método simple de obtener las órbitas pero que no esta fundamentado en ninguna base científica. Sólo se intenta dar una semejanza con nuestro sistema solar.

Primero se calcula el valor de la Primera órbita que nos da el factor para calcular las siguientes. Este valor depende de la masa de la estrella. De forma arbitraria lo definimos así:

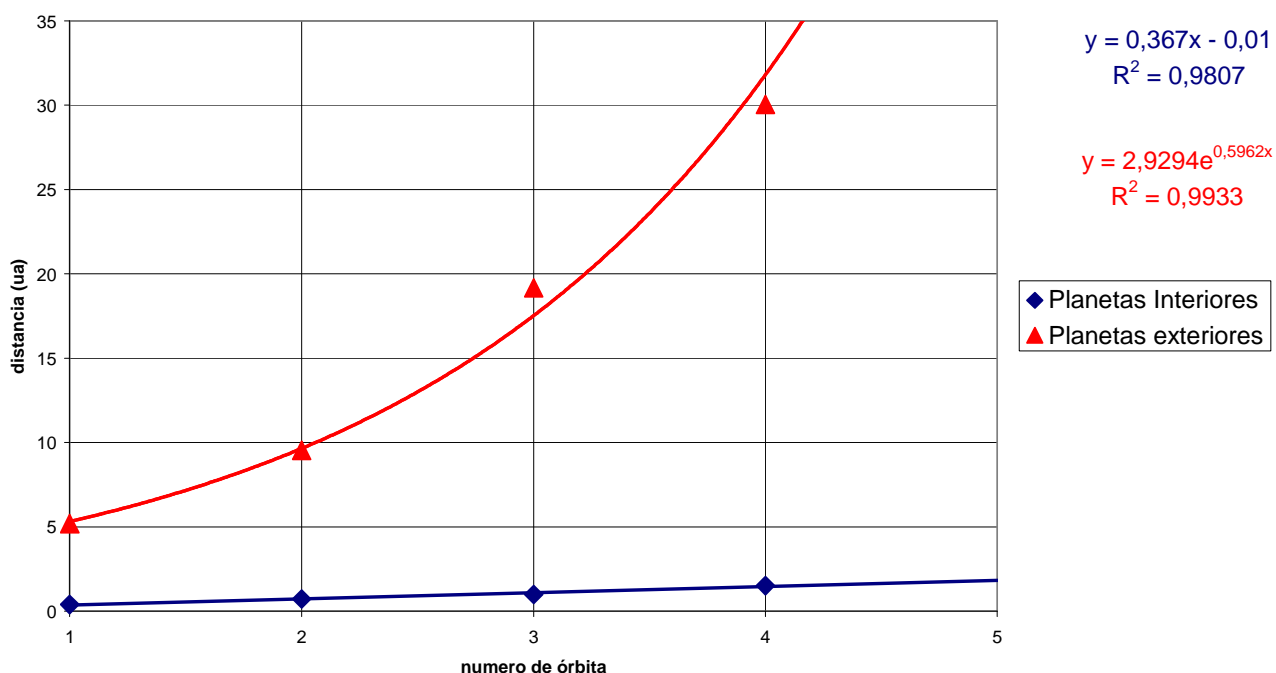
$$\text{Primera Órbita} = M_s/3$$

La M_s es la masa de la estrella que se expresa en valores de múltiplo de la solar. El resultado son unidades astronómicas, ua. El valor de 0,35 es aproximado al de la órbita de Mercurio, la primera órbita de nuestro sistema. Aquí podemos aplicar también un factor de variabilidad si queremos.

Luego dividiremos las órbitas en dos zonas: la interior, antes de la línea de congelamiento, y la exterior. Para establecerlas hemos de saber cuantas órbitas hay. Seguimos el siguiente procedimiento:

- A) Órbitas Interiores: Se tiran 2D6 positivos y un D6 negativo. El resultado es el número de órbitas. Los valores negativos se consideran cero. Si una órbita esta en la primera zona de congelamiento del sistema se convierte en un anillo de asteroides. Las órbitas interiores más allá se eliminan.
- B) Órbitas Exteriores: Se hace el mismo procedimiento para el cálculo del número de órbitas. Si alguna cae por debajo de la línea de congelamiento se elimina.

Órbitas del Sistema Solar



Y ahora calculamos las distancias orbitales. Para ello utilizamos estas dos leyes:

- 1) En los planetas interiores las distancias orbitales superiores a la primera se pueden calcular como el producto de la primera órbita por el número de órbita.
- 2) Para los planetas exteriores el valor de una órbita es el producto de la primera por 10 por la exponencial de e del número de órbita dividido por dos. Este número de órbita se empieza a contar tomando el 1 como la primera órbita exterior.

Órbita interior (n): Órbita (n) = n x Valor de la Primera órbita

Órbita exterior (m): Órbita (m) = Primera órbita x 10 x $e^{m/2}$

Si no se tiene una calculadora científica a mano se puede usar esta tabla en la que el número en la columna es el valor por el que se tiene que multiplicar la primera órbita:

MULTIPLICADOR DE ÓRBITAS		
Órbita	Interiores	Exteriores
1	1,0	16,5
2	2,0	27,2
3	3,0	44,8
4	4,0	73,9
5	5,0	121,8
6	6,0	201
7	7,0	331
8	8,0	546
9	9,0	900
10	10,0	1484

Radio Planetario

Para la generación de planetas con características coherentes con los datos del sistema solar hemos de determinar primero el radio y la densidad planetarios. A partir de ahí podemos calcular la masa y gravedad.

Para el radio planetario multiplicamos el resultado de una tirada de 2D10 por lo que denomino Factor de Radio que depende de si el planeta es interior, exterior A (antes de la segunda línea de congelamiento) o exterior B (después de la segunda línea de congelamiento). Y en el caso de los planetas hago un ajuste debido a la masa de la protonebulosa planetaria. Cuanto menor masa esta disponible menor es el tamaño planetario medio. Para simular esto multiplicamos por la raíz cúbica de la masa de la estrella que es proporcional al radio.

$$\text{Radio planetario} = 2D10 \times \text{Factor de Radio} \times M_s^{1/3}$$

Donde el Factor de radio es:

- Planeta Interior: 500 Km
- Planeta Exterior (A): 5000 Km
- Planeta Exterior (B): 2500 Km

Aquí pongo una tabla con los valores de $M_s^{1/3}$ para evitar el cálculo:

Clase	$M_s^{1/3}$
O	3,9
B	2,6
A	1,5
F	1,2
G	1,0
K	0,9
M	0,7

Densidad Planetaria

La densidad planetaria varía según el planeta sea interior, exterior (A) o exterior (B). Aquí ponemos una tabla en base a una tirada de 1D6 para determinar el valor de la densidad según el caso:

DENSIDAD PLANETARIA (g/cm3)				
1D6	Interior	Exterior (A)	Exterior (B)	Asteroide
1	4,6	0,7	0,8	1,0
2	4,8	0,8	1,0	1,4
3	5,0	0,9	1,2	1,8
4	5,2	1,0	1,4	2,2
5	5,4	1,1	1,6	2,6
6	5,6	1,2	1,8	3,0

Atmósfera Planetaria

Además también podemos tener una idea de su atmósfera ya que ésta depende principalmente de dos factores:

- La Velocidad de Escape planetaria
- La Velocidad Cinética de las moléculas en la atmósfera

Es decir: Por una parte las moléculas de gas son atraídas por la gravedad del planeta y por otra tienen una velocidad derivada de su temperatura que las puede hacer salir al espacio con lo que el planeta acaba perdiendo su atmósfera. La velocidad de escape se puede calcular a partir de la ecuación de la energía cinética igualada a la energía potencial gravitatoria. Y la velocidad de la molécula viene dada por la teoría cinética de los gases. Igualando ambas velocidades se puede despejar la temperatura de escape para un gas dado. Podemos ver el desarrollo aquí: <http://www.sfu.ca/~boal/390lecs/390lec9.pdf>

Si consideramos la temperatura de escape de un planeta en función de la temperatura de escape de la Tierra (dividimos la Tesc del planeta por la Tesc de la Tierra) podemos obtener esta relación que llamo "Factor atmosférico":

$$\text{Factor atmosférico del planeta} = M_{\text{planet}}/M_{\text{tierra}} \times R_{\text{tierra}}/R_{\text{planet}}$$

Donde M se refiere a las masas y R se refiere a los radios planetarios. Esto es lo que en la tabla se encuentra en la columna atm.

Para utilizar la tabla primero se tiran 2D6 de forma que los 6 se vuelven a tirar y se suman y los 1 se vuelven a tirar y se restan siendo el resultado mínimo 1. En el caso de los planetas exteriores los 1 no se vuelven a tirar. Una vez determinado el valor de la columna 2D6 se tira 1D6 para determinar la densidad planetaria y así determinar las tres propiedades relevantes: masa, gravedad y factor atmosférico.

Como una primera aproximación se puede tomar el valor del Factor atmosférico igual a la presión. Pero para valores inferiores a 0,1 el planeta no

tiene atmósfera ya que la ha perdido al cabo del tiempo. Y para valores inferiores a 0,5 probablemente habrá perdido la mayor parte. Para valores mayores de 0,5 se puede suponer que el planeta ha retenido su atmósfera. Siempre podemos aplicar el factor de variabilidad al resultado.

Para la composición atmosférica de los planetas fuera de la zona habitable lo normal es encontrar:

- Planetas Interiores: Si no ha surgido la vida la composición es una mezcla de gases con componente mayoritario de CO₂. Otros gases: N₂, O₂. En este caso la presión atmosférica para factores de 0,9 o más puede aumentar drásticamente como es el caso de Venus.
- Planetas Exteriores: Mezcla de gases con componente mayoritario de H₂. Otros gases: amoníaco, CO₂. Las primeras órbitas exteriores pueden formar gigantes de gas como Júpiter o Saturno.

De forma arbitraria podemos asumir que tenemos una gigante de gas si el atm es igual o mayor de 10.

Tablas de generación Planetaria

Adjuntamos unas tablas donde se han realizado los cálculos de la masa planetaria (en tierras), la gravedad (m/s²) y el factor atmosférico a partir del radio planetario y su densidad que se encuentran al final, en el apéndice de tablas.

Satélites

Para el cálculo del número de satélites de un planeta usamos este sistema sencillo:

- Planeta Interior: 1D6-3 (negativos = 0)
- Planeta exterior (A): 3D6 (6 se repiten y suman)
- Planeta exterior (B): 2D6 (6 se repiten y suman)

De forma similar a los planetas, se pueden calcular los radios de las lunas y asteroides. Pero en este caso no se ha de multiplicar por $M_s^{1/3}$:

Radio de Satélite = 2D10 x Factor de Radio

- Luna de Planeta Interior: 100 Km
- Luna de planeta Exterior: 150 Km
- Asteroide: 50 Km

Posibilidad de Vida

Dentro de la zona habitable hemos de decidir si en el planeta ha surgido la vida. En ese caso el CO₂ se habrá fijado y la composición atmosférica será de N₂ y O₂ como en la Tierra. La toma de esa decisión es difícil y dependerá de un porcentaje de probabilidad desconocida. Podemos tomar las siguientes decisiones:

- La Vida es un fenómeno muy improbable: 01 en un D100
- La vida es poco probable: 05 o menos en D100
- La Vida es relativamente posible: 20 o menos en D100
- La Vida es bastante probable: 50 o menos en D100

Tipo de Planeta Habitable

Si en la tirada de posibilidad de vida ha salido positivo, entonces podemos ver que tipo de planeta es que describo con el término de su clima más probable representativo. Para ello me baso en la temperatura y el % de agua del planeta que escalo entre 1 y 6 (siempre dentro de valores que se consideren posibles para un planeta habitable).

El cálculo de la temperatura se deriva de la posición del planeta dentro de la zona de vida. Llamando Li y Lm al margen inferior y superior respectivamente y Op a la órbita del planeta, tenemos (se aproxima al valor entero más cercano):

$$\text{Temperatura} = 6 \times (\text{Op} - \text{Li}) / (\text{Lm} - \text{Li})$$

Para el % de agua planetario tiramos 1D6. Con los dos valores podemos consultar la tabla siguiente:

		TABLA CLIMÁTICA					
		TEMPERATURA					
		1	2	3	4	5	6
HUMEDAD	1	DESIERTO POLAR	DESIERTO BOREAL	ESTEPA FRESCA	DESIERTO TEMPLADO	DESIERTO TROPICAL	DESIERTO EXTREMO
	2	TUNDRA SECA	ESTEPA BOREAL	ESTEPA TEMPLADA	ESTEPA CALIDA	ESTEPA TROPICAL	ESTEPA DESÉRTICA
	3	TUNDRA HUMEDA	BOSQUE BOREAL	BOSQUE	BOSQUE CALIDO	BOSQUE TROPICAL	SELVA
	4	TUNDRA MOJADA	BOSQUE BOREAL HUMEDO	BOSQUE HUMEDO	BOSQUE HUMEDO	BOSQUE LLUVIOSO TROPICAL	SELVA HUMEDA
	5	TUNDRA LLUVIOSA	BOSQUE BOREAL LLUVIOSO	BOSQUE LLUVIOSO	SELVA	SELVA HUMEDA	SELVA LLUVIOSA
	6	HELADO CON OCEANO SUBTERRANEO	ACUATICO BOREAL	ACUATICO	ACUATICO LLUVIOSO	ACUATICO CALIDO	SELVA PANTANOSA

Tipo de Planeta No Habitable

Si el planeta ha resultado ser no habitable, entonces su tipo dependerá de la presión atmosférica y de la zona en que esté. Las zonas son:

- Planeta interior antes de la zona de vida: Pi (1)
- Planeta en la zona de vida: LZ
- Planeta interior después de la zona de vida: Pi (2)
- Planeta exterior de la zona A: Pe (A)
- Planeta exterior de la zona B: Pe (B)
- Planeta del cinturón de Kuiper: K

Y se consulta la tabla siguiente.

		TIPO DE PLANETA					
		ZONAS					
		Pi (1)	LZ	Pi (2)	Pe (A)	Pe (B)	K
ATMÓSFERAA	<0,1	MERCURIANO	MERCURIANO	HELADO			PLANETA ENANO
	0,1 - 0,5	DESIERTO	DESIERTO	DESIERTO	HELADO	HELADO	BOLA DE HIELO
	0,6 - 1,4	VENUSIANO	PRE TIERRA	VENUSIANO	OCEANICO	OCEANICO	BOLA DE HIELO
	1,5 - 2,5	VOLCÁNICO	VENUSIANO	VENUSIANO	ENANA DE HIELO	ENANA DE HIELO	GIGANTE DE HIELO
	2,6 - 10	ENANA DE GAS	ENANA DE GAS	ENANA DE GAS	GIGANTE DE HIELO	GIGANTE DE HIELO	GIGANTE DE HIELO
	>10				GIGANTE DE GAS	GIGANTE DE GAS	SUB ENANA MARRÓN

CLAVE:

- BOLA DE HIELO: Planeta en que la mayor parte de la atmósfera ha condensado formando una enorme bola de hielo.
- DESIERTO: Tipo Marte
- HELADO: La superficie esta formada por una ancha capa de hielo.
- ENANA DE GAS: Parecido a una gigante de gas pero de tamaño mucho más pequeño.
- ENANA DE HIELO: Parecido a una gigante de hielo pero de tamaño mucho más pequeño.
- GIGANTE DE GAS: Tipo Júpiter
- GIGANTE DE HIELO: Tipo Neptuno
- OCEÁNICO: Planeta en el que la mayor parte de la atmósfera ha licuado formando un enorme océano.
- PLANETA ENANO: Es un asteroide de gran tamaño. Tipo Ceres
- PRE TIERRA: Es como la Tierra antes de la aparición de la vida. Atmósfera de metano, amoníaco e hidrógeno con gran actividad volcánica y tormentas de relámpagos.
- SUB ENANA MARRÓN: Planeta en el límite de tamaño para convertirse en una estrella.
- VENUSIANO: Tipo Venus, con un gran efecto invernadero que multiplica la presión atmosférica de la tabla por 10.
- VOLCÁNICO: Planeta muy caliente con atmósfera densa y gran actividad volcánica.

PLANETAS INTERIORES

DENSIDAD (g/cm3)

Radio (Km)	4,6			4,8			5,0			5,2			5,4			5,6		
	M	g	atm	M	g	atm	M	g	atm	M	g	atm	M	g	atm	M	g	atm
	1.000	0,003	0,131	0,020	0,003	0,136	0,021	0,003	0,142	0,022	0,004	0,148	0,023	0,004	0,153	0,024	0,004	0,159
2.000	0,03	0,26	0,08	0,03	0,27	0,09	0,03	0,28	0,09	0,03	0,30	0,09	0,03	0,31	0,10	0,03	0,32	0,10
3.000	0,09	0,39	0,18	0,09	0,41	0,19	0,09	0,43	0,20	0,10	0,44	0,21	0,10	0,46	0,22	0,11	0,48	0,22
4.000	0,21	0,52	0,33	0,21	0,55	0,34	0,22	0,57	0,36	0,23	0,59	0,37	0,24	0,61	0,38	0,25	0,64	0,40
5.000	0,40	0,65	0,51	0,42	0,68	0,53	0,44	0,71	0,56	0,45	0,74	0,58	0,47	0,77	0,60	0,49	0,80	0,62
6.000	1	0,8	1	1	0,8	1	1	0,9	1	1	0,9	1	1	0,9	1	1	1,0	1
7.000	1	0,9	1	1	1,0	1	1	1,0	1	1	1,0	1	1	1,1	1	1	1,1	1
8.000	2	1,0	1	2	1,1	1	2	1,1	1	2	1,2	1	2	1,2	2	2	1,3	2
9.000	2	1,2	2	2	1,2	2	3	1,3	2	3	1,3	2	3	1,4	2	3	1,4	2
10.000	3	1,3	2	3	1,4	2	3	1,4	2	4	1,5	2	4	1,5	2	4	1,6	2
11.000	4	1,4	2	4	1,5	3	5	1,6	3	5	1,6	3	5	1,7	3	5	1,8	3
12.000	6	1,6	3	6	1,6	3	6	1,7	3	6	1,8	3	7	1,8	3	7	1,9	4
13.000	7	1,7	3	7	1,8	4	8	1,8	4	8	1,9	4	8	2,0	4	9	2,1	4
14.000	9	1,8	4	9	1,9	4	10	2,0	4	10	2,1	5	10	2,1	5	11	2,2	5
15.000	11	2,0	5	11	2,0	5	12	2,1	5	12	2,2	5	13	2,3	5	13	2,4	6
16.000	13	2,1	5	14	2,2	5	14	2,3	6	15	2,4	6	15	2,5	6	16	2,5	6
17.000	16	2,2	6	16	2,3	6	17	2,4	6	18	2,5	7	19	2,6	7	19	2,7	7
18.000	19	2,4	7	20	2,5	7	20	2,6	7	21	2,7	8	22	2,8	8	23	2,9	8
19.000	22	2,5	7,4	23	2,6	7,7	24	2,7	8,0	25	2,8	8,4	26	2,9	8,7	27	3,0	9,0
20.000	26	2,6	8,2	27	2,7	8,6	28	2,8	8,9	29	3,0	9,3	30	3,1	9,6	31	3,2	10,0

PLANETAS EXTERIORES (A)

DENSIDAD (g/cm3)

Radio (Km)	0,7			0,8			0,9			1,0			1,1			1,2		
	M	g	atm	M	g	atm	M	g	atm	M	g	atm	M	g	atm	M	g	atm
	10.000	0,5	0,2	0,3	0,6	0,2	0,4	0,6	0,3	0,4	0,7	0,3	0,4	0,8	0,3	0,5	0,8	0,3
15.000	2	0,3	1	2	0,3	1	2	0,4	1	2	0,4	1	3	0,5	1	3	0,5	1
20.000	4	0,4	1	4	0,5	1	5	0,5	2	6	0,6	2	6	0,6	2	7	0,7	2
25.000	8	0,5	2	9	0,6	2	10	0,6	3	11	0,7	3	12	0,8	3	13	0,9	3
30.000	13	0,6	3	15	0,7	3	17	0,8	4	19	0,9	4	21	0,9	4	23	1,0	5
35.000	21	0,7	4	24	0,8	4	27	0,9	5	30	1,0	5	33	1,1	6	36	1,2	7
40.000	31	0,8	5	36	0,9	6	40	1,0	6	45	1,1	7	49	1,3	8	54	1,4	9
45.000	45	0,9	6	51	1,0	7	57	1,2	8	64	1,3	9	70	1,4	10	76	1,5	11
50.000	61	1,0	8	70	1,1	9	79	1,3	10	87	1,4	11	96	1,6	12	105	1,7	13
55.000	81	1,1	9	93	1,3	11	105	1,4	12	116	1,6	13	128	1,7	15	139	1,9	16
60.000	106	1,2	11	121	1,4	13	136	1,5	14	151	1,7	16	166	1,9	18	181	2,0	19
65.000	134	1,3	13	153	1,5	15	173	1,7	17	192	1,8	19	211	2,0	21	230	2,2	23
70.000	168	1,4	15	192	1,6	17	216	1,8	20	239	2,0	22	263	2,2	24	287	2,4	26
75.000	206	1,5	18	236	1,7	20	265	1,9	23	295	2,1	25	324	2,3	28	353	2,6	30
80.000	250	1,6	20	286	1,8	23	322	2,0	26	358	2,3	29	393	2,5	31	429	2,7	34
85.000	300	1,7	23	343	1,9	26	386	2,2	29	429	2,4	32	472	2,7	35	515	2,9	39
90.000	356	1,8	25	407	2,0	29	458	2,3	32	509	2,6	36	560	2,8	40	611	3,1	43
95.000	419	1,9	28	479	2,2	32	539	2,4	36	599	2,7	40	659	3,0	44	718	3,2	48
100.000	489	2,0	31	559	2,3	36	628	2,6	40	698	2,8	45	768	3,1	49	838	3,4	53

PLANETAS EXTERIORES (B)																			
DENSIDAD (g/cm3)																			
Radio (Km)	0,8			1,0			1,2			1,4			1,6			1,8			
	M	g	atm	M	g	atm	M	g	atm	M	g	atm	M	g	atm	M	g	atm	
5.000	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
7.500	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5
10.000	0,6	0,2	0,4	0,7	0,3	0,4	0,8	0,3	0,5	1,0	0,4	0,6	1,1	0,5	0,7	1,3	0,5	0,8	0,8
12.500	1,1	0,3	0,6	1,4	0,4	0,7	1,6	0,4	0,8	1,9	0,5	1,0	2,2	0,6	1,1	2,5	0,6	1,3	1,3
15.000	2	0,3	1	2	0,4	1	3	0,5	1	3	0,6	1	4	0,7	2	4	0,8	2	2
17.500	3	0,4	1	4	0,5	1	4	0,6	2	5	0,7	2	6	0,8	2	7	0,9	2	2
20.000	4	0,5	1	6	0,6	2	7	0,7	2	8	0,8	2	9	0,9	3	10	1,0	3	3
22.500	6	0,5	2	8	0,6	2	10	0,8	3	11	0,9	3	13	1,0	4	14	1,2	4	4
25.000	9	0,6	2	11	0,7	3	13	0,9	3	15	1,0	4	17	1,1	4	20	1,3	5	5
27.500	12	0,6	3	15	0,8	3	17	0,9	4	20	1,1	5	23	1,3	5	26	1,4	6	6
30.000	15	0,7	3	19	0,9	4	23	1,0	5	26	1,2	6	30	1,4	6	34	1,5	7	7
32.500	19	0,7	4	24	0,9	5	29	1,1	6	34	1,3	7	38	1,5	8	43	1,7	8	8
35.000	24	0,8	4	30	1,0	5	36	1,2	7	42	1,4	8	48	1,6	9	54	1,8	10	10
37.500	29	0,9	5	37	1,1	6	44	1,3	8	52	1,5	9	59	1,7	10	66	1,9	11	11
40.000	36	0,9	6	45	1,1	7	54	1,4	9	63	1,6	10	72	1,8	11	80	2,0	13	13
42.500	43	1,0	6	54	1,2	8	64	1,4	10	75	1,7	11	86	1,9	13	96	2,2	14	14
45.000	51	1,0	7	64	1,3	9	76	1,5	11	89	1,8	13	102	2,0	14	115	2,3	16	16
47.500	60	1,1	8	75	1,3	10	90	1,6	12	105	1,9	14	120	2,2	16	135	2,4	18	18
50.000	70	1,1	9	87	1,4	11	105	1,7	13	122	2,0	16	140	2,3	18	157	2,6	20	20

SATÉLITES Y ASTEROIDES

DENSIDAD (g/cm3)

Radio(Km)	1,0			1,4			1,8			2,2			2,6			3,0		
	Mx1000	g	atmx1000	Mx1000	g	atmx1000	Mx1000	g	atmx1000	Mx1000	g	atmx1000	Mx1000	g	atmx1000	Mx1000	g	atmx1000
100	0,001	0,003	0,045	0,001	0,004	0,062	0,001	0,005	0,080	0,002	0,006	0,098	0,002	0,007	0,116	0,002	0,009	0,134
200	0,006	0,006	0,178	0,008	0,008	0,249	0,010	0,010	0,321	0,012	0,013	0,392	0,015	0,015	0,463	0,017	0,017	0,534
300	0,019	0,009	0,401	0,026	0,012	0,561	0,034	0,015	0,721	0,041	0,019	0,882	0,049	0,022	1,042	0,057	0,026	1,202
400	0,045	0,011	0,713	0,063	0,016	0,998	0,080	0,020	1,283	0,098	0,025	1,568	0,116	0,030	1,853	0,134	0,034	2,138
500	0,087	0,014	1,113	0,122	0,020	1,559	0,157	0,026	2,004	0,192	0,031	2,449	0,227	0,037	2,895	0,262	0,043	3,340
600	0,151	0,017	1,603	0,211	0,024	2,245	0,271	0,031	2,886	0,332	0,038	3,527	0,392	0,044	4,168	0,452	0,051	4,810
700	0,239	0,020	2,182	0,335	0,028	3,055	0,431	0,036	3,928	0,527	0,044	4,801	0,623	0,052	5,674	0,718	0,060	6,547
800	0,358	0,023	2,850	0,501	0,032	3,990	0,644	0,041	5,130	0,787	0,050	6,270	0,930	0,059	7,410	1,073	0,068	8,551
900	0,51	0,03	3,61	0,71	0,04	5,05	0,92	0,05	6,49	1,12	0,06	7,94	1,32	0,07	9,38	1,53	0,08	10,82
1.000	0,70	0,03	4,45	0,98	0,04	6,23	1,26	0,05	8,02	1,54	0,06	9,80	1,82	0,07	11,58	2,09	0,09	13,36
1.100	0,93	0,03	5,39	1,30	0,04	7,54	1,67	0,06	9,70	2,04	0,07	11,85	2,42	0,08	14,01	2,79	0,09	16,17
1.200	1,21	0,03	6,41	1,69	0,05	8,98	2,17	0,06	11,54	2,65	0,08	14,11	3,14	0,09	16,67	3,62	0,10	19,24
1.300	1,53	0,04	7,53	2,15	0,05	10,54	2,76	0,07	13,55	3,37	0,08	16,56	3,99	0,10	19,57	4,60	0,11	22,58
1.400	1,92	0,04	8,73	2,68	0,06	12,22	3,45	0,07	15,71	4,22	0,09	19,20	4,98	0,10	22,69	5,75	0,12	26,19
1.500	2,36	0,04	10,02	3,30	0,06	14,03	4,24	0,08	18,04	5,18	0,09	22,04	6,13	0,11	26,05	7,07	0,13	30,06
1.600	2,86	0,05	11,40	4,00	0,06	15,96	5,15	0,08	20,52	6,29	0,10	25,08	7,44	0,12	29,64	8,58	0,14	34,20
1.700	3,43	0,05	12,87	4,80	0,07	18,02	6,17	0,09	23,17	7,55	0,11	28,31	8,92	0,13	33,46	10,29	0,14	38,61
1.800	4,07	0,05	14,43	5,70	0,07	20,20	7,33	0,09	25,97	8,96	0,11	31,74	10,59	0,13	37,52	12,22	0,15	43,29
1.900	4,79	0,05	16,08	6,70	0,08	22,51	8,62	0,10	28,94	10,54	0,12	35,37	12,45	0,14	41,80	14,37	0,16	48,23
2.000	5,59	0,06	17,81	7,82	0,08	24,94	10,05	0,10	32,06	12,29	0,13	39,19	14,52	0,15	46,32	16,76	0,17	53,44
2.100	6,47	0,06	19,64	9,05	0,08	27,50	11,64	0,11	35,35	14,23	0,13	43,21	16,81	0,16	51,06	19,40	0,18	58,92
2.200	7,43	0,06	21,55	10,41	0,09	30,18	13,38	0,11	38,80	16,36	0,14	47,42	19,33	0,16	56,04	22,30	0,19	64,66
2.300	8,50	0,07	23,56	11,89	0,09	32,98	15,29	0,12	42,41	18,69	0,14	51,83	22,09	0,17	61,25	25,49	0,20	70,68
2.400	9,65	0,07	25,65	13,51	0,10	35,91	17,37	0,12	46,17	21,24	0,15	56,43	25,10	0,18	66,69	28,96	0,20	76,95
2.500	10,91	0,07	27,83	15,27	0,10	38,97	19,64	0,13	50,10	24,00	0,16	61,23	28,37	0,18	72,37	32,73	0,21	83,50
2.600	12,3	0,07	30,1	17,2	0,10	42,1	22,1	0,13	54,2	27,0	0,16	66,2	31,9	0,19	78,3	36,8	0,22	90,3
2.700	13,7	0,08	32,5	19,2	0,11	45,5	24,7	0,14	58,4	30,2	0,17	71,4	35,7	0,20	84,4	41,2	0,23	97,4
2.800	15,3	0,08	34,9	21,5	0,11	48,9	27,6	0,14	62,8	33,7	0,18	76,8	39,9	0,21	90,8	46,0	0,24	104,7
2.900	17,0	0,08	37,5	23,8	0,12	52,4	30,7	0,15	67,4	37,5	0,18	82,4	44,3	0,21	97,4	51,1	0,25	112,4
3.000	18,9	0,09	40,1	26,4	0,12	56,1	33,9	0,15	72,1	41,5	0,19	88,2	49,0	0,22	104,2	56,6	0,26	120,2

