

Habitabilidad del planeta UMMO que orbita la estrella lumma

Autor : Rémy Galli

2/02/2021

Introducción

Hoy en día, existen simuladores en línea para estimar la habitabilidad de un exoplaneta, pero hay que disponer de los parámetros necesarios para la simulación.

En el caso del par {lumma, Ummo}, disponemos de un corpus muy completo de datos astronómicos; sin embargo, falta un parámetro esencial, a saber, la luminosidad absoluta de la estrella lumma, cuya masa y temperatura efectiva sí conocemos.

Para estimar esta luminosidad a partir de las teorías actuales, necesitaríamos, además de los parámetros anteriores, el llamado índice de metalicidad de la estrella lumma.

De este parámetro crucial depende la habitabilidad de Ummo, como se muestra a continuación.

1) **La metalicidad de una estrella** es un parámetro muy importante para estimar su luminosidad.

A este respecto, podemos consultar el siguiente artículo, que hace referencia a las estrellas enanas cuyo índice B-V se sitúa entre 0,7 y 1,2. (índice B-V de lumma=1,15, el del sol 0,65).

Luminosity–metallicity relation for stars on the lower main sequence
Eira Kotoneva, Chris Flynn, and Raul Jimenez 2002

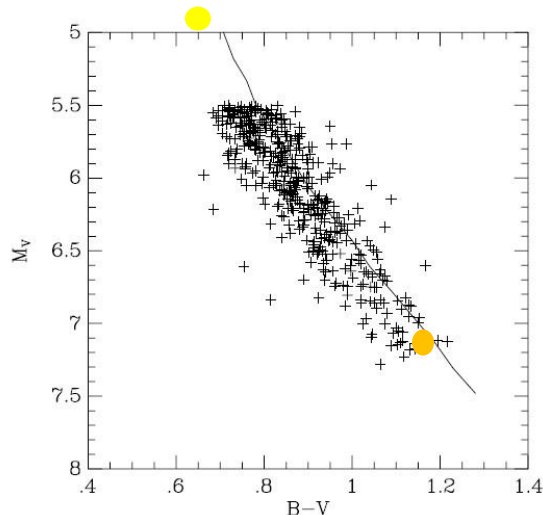


Figure 1. The colour–magnitude diagram of single stars of the data set (433 stars). The single stars form a clear main sequence. The line shows a solar metallicity 11-Gyr isochrone from Jimenez et al. (1998).

El gráfico anterior muestra que, para un índice determinado, la dispersión en la magnitud es importante y puede llegar a una desviación de 0,5 en la magnitud, es decir, un factor de 1,6 en la luminosidad.

Esto puede no parecer mucho, pero una reducción por un factor de 1,6 puede ser suficiente para sacar a un planeta de la zona de habitabilidad.

Los autores del artículo anterior destacan una ley de corrección para la magnitud absoluta en este rango de índice B-V, que se escribe de la siguiente manera y no depende del índice BV, sino sólo de la metalicidad [Fe/H] tal y como se indica a continuación:

$$\Delta M_V = 0.04577 - 0.84375 \times [\text{Fe}/\text{H}]. \quad (1)$$

Utilizaremos esta relación (1) más adelante, así como la dispersión obtenida por los autores sobre la magnitud anterior (+/- 0,08).

2) Relación masa-luminosidad y efecto de la metalicidad sobre la luminosidad

Existe un conjunto de relaciones comúnmente aceptadas para hallar la luminosidad de una estrella con respecto a la del sol, basadas en su masa con respecto a la del sol, que también tiene en cuenta su composición química y metalicidad.

Estas explicaciones pueden encontrarse, por ejemplo, en el siguiente libro:

Evolution of stars and stellar populations. Salaris Mars 2005, dont voici un extrait :

Due to the several approximations made in this sketchy derivation, one has to expect that the relation $L \propto M^3$ is only roughly followed by 'real' stars. Empirical data for stars of approximately solar chemical composition provide $L \propto M^{3.6}$ for masses between ~ 2 and $20M_{\odot}$, $L \propto M^{4.5}$ in the range between ~ 2 and $0.5M_{\odot}$, and $L \propto M^{2.6}$ in the range between ~ 0.5 and $0.2M_{\odot}$. Figure 5.11 shows a theoretical mass-luminosity relation for ZAMS stars in the mass range $0.1M_{\odot}$ – $10M_{\odot}$ provided by detailed evolutionary computations, that displays trends with mass roughly consistent with the observations.

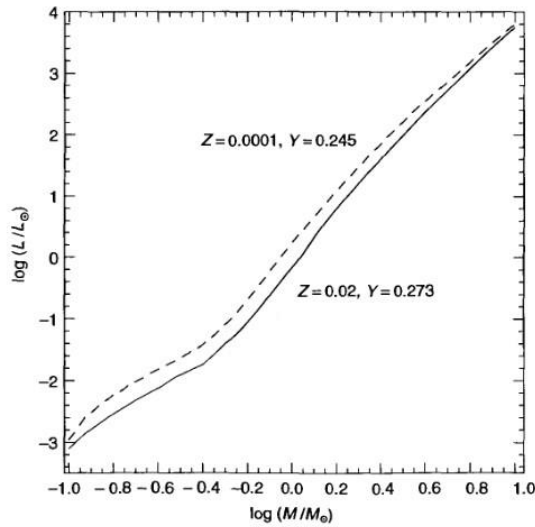


Figure 5.11 The mass–luminosity relation for ZAMS stars in the mass interval $0.1M_{\odot}$ – $10M_{\odot}$, for two initial chemical compositions

La ley del tipo $M^{4,5}$ se aplica a las estrellas de masa comprendida entre 0,5 Msol y 2 Msol y, por tanto, nos concierne directamente.

El siguiente gráfico muestra esta ley en rojo, siendo las escalas logarítmicas.

En la abscisa, masa de la estrella entre 0,5 y 1 masa solar (1 a $2 \cdot 10^{30}$ kg).

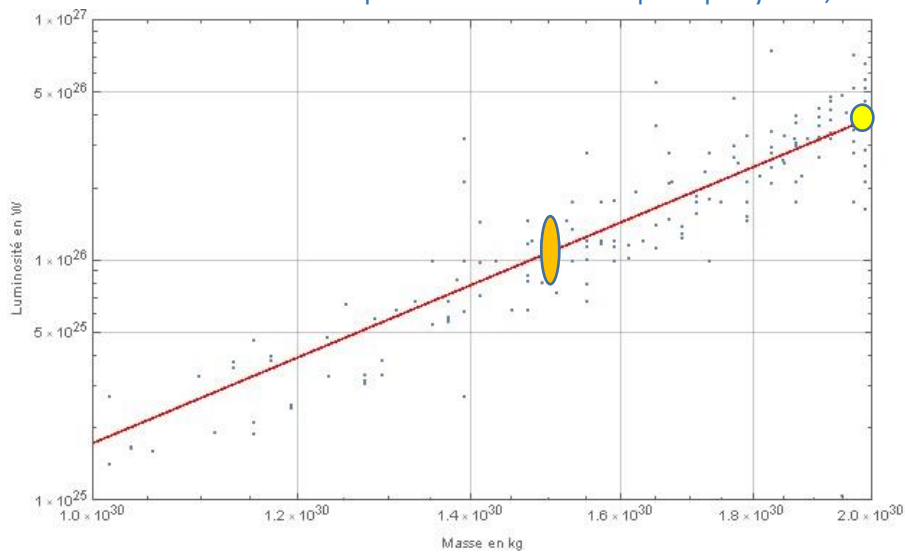
En la ordenada, luminosidad en W. El sol se encuentra en el punto $\{1,99 \cdot 10^{30}$ kg, $3,83 \cdot 10^{26}$ W} en amarillo.

Iumma se sitúa alrededor del punto $\{1,48 \cdot 10^{30}$ kg, $1 \cdot 10^{26}$ W} en naranja, puesto que no conocemos la dispersión alrededor de este valor.

Esta dispersión se confirma cuando consultamos los catálogos de estrellas disponibles en Internet.

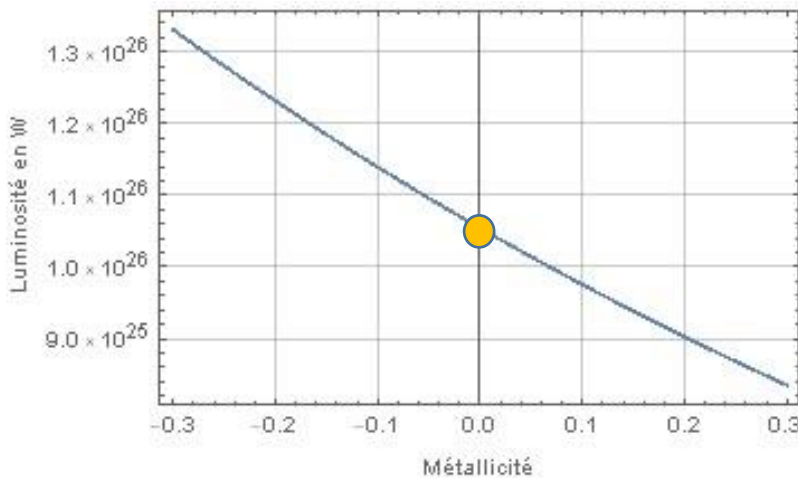
Los puntos azules del gráfico son un extracto de los pares {Masa, Luminosidad} de las 20000 estrellas más cercanas a nosotros (distancia <100 parsec).

Puntos azules: estrellas <100 parsec en la secuencia principal y de 0,5 a 1 masa solar.



Como hemos explicado en el capítulo 1, se ha identificado que esta dispersión en la luminosidad o magnitud se debe al índice de metalicidad de la estrella.

Así que si ahora queremos estimar la posible variación de esta luminosidad para lumma, debemos utilizar la relación (1) anterior, y obtenemos la siguiente curva.



Esta curva muestra una posible variación de la luminosidad de lumma por un factor de 1,5 entre una metalicidad de -0,3 y otra de +0,3. Esto puede parecer poco, pero supone una diferencia muy grande a la hora de estimar el clima resultante en el planeta Ummo.

3) Simulación del clima en Ummo en función de la luminosidad de lumma

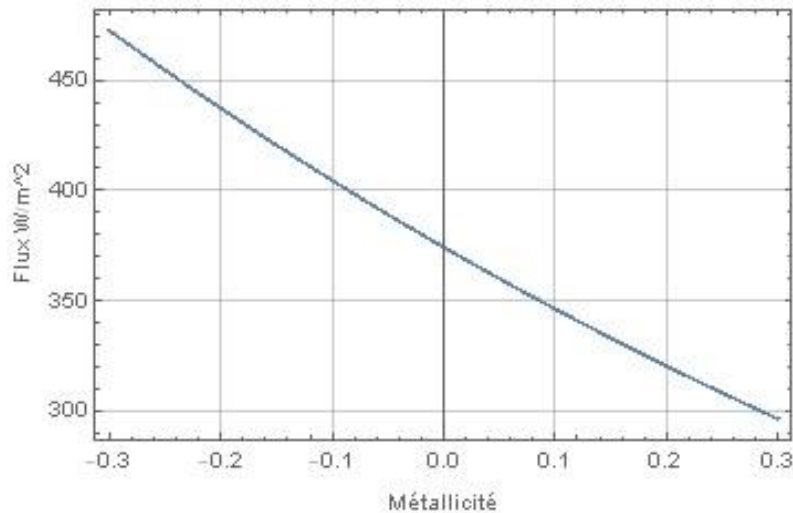
Para realizar esta simulación, utilizamos el programa 1 D disponible en la siguiente dirección:

<http://exoplanet.eu/GCM1D/>

GCM-1D: A tool to simulate an Earth-like atmosphere

Para alimentar esta simulación, necesitamos muchos parámetros (especificados a continuación), que afortunadamente están casi todos ellos disponibles en Ummo Wiki.

Un parámetro muy importante que falta es el flujo de lumma que incide en Ummo expresado en W/m^2 a una distancia estándar de 1 Unidad Astronómica. Esto podría llamarse la constante "solar" de la lumma. Utilizando los resultados anteriores que dan un posible rango de luminosidad para lumma, y suponiendo que en la Tierra tenemos $1362 W/m^2$ que inciden a una distancia de 1 UA (siendo este valor la constante solar, que no es del todo constante como se indica en el Apéndice 2), podemos estimar el flujo que recibiría un planeta situado a una distancia de 1 UA de lumma, como se muestra en el siguiente gráfico.



Como Ummo está más cerca de lumma que la Tierra del Sol (0,664 UA), el código GCM-1D lo tiene en cuenta para calcular el flujo incidente en la superficie de Ummo.

Al introducir diferentes valores de flujo en la simulación, nos damos cuenta de que la luminosidad de lumma (y, en consecuencia, el flujo incidente en Ummo) es un parámetro muy importante.

Ejemplo de simulación

Para ilustrar este último punto, he aquí una simulación utilizando el valor máximo de 480 W/m² del gráfico anterior.

Los demás parámetros se muestran en la tabla de la página siguiente; todos los datos útiles, salvo el flujo a 1 UA, proceden de UMMO WIKI, salvo algunos detalles.

- La profundidad del océano se ha ajustado al máximo del cursor, pero este parámetro tiene poco impacto en los resultados.
- La excentricidad (a veces 0,078, a veces 0,0078) induce una corrección insignificante, de ahí el valor cero elegido.
- La proporción de CO₂ no se puede ajustar de forma continua en el código. Los pasos utilizables y relevantes para nuestro estudio son {400 ppm, 900 ppm, 1% y 10%}. En el Apéndice 3 se propone un método que permite interpolar la temperatura media en función de la tasa de CO₂ equivalente. Esto lleva a añadir +4°C si tomamos una tasa de CO₂ equivalente del 2,3% (1,8% por el CO₂ + 0,5% de CO₂ equivalente por el metano)

Parameters

Flux at 1 AU:
480 W/m²

Distance:
0.664 UA

Eccentricity:
0

Period: **232 days**

Quantity of CO₂:
1 %

Star Type:
Blackbody ▼

Temperature:
4580 °K

Initial parameters

Quantity of liquid water at surface:
2000 m

Oceanic coverage:
62 %

Gravity: **11.88 m.s⁻²**

Pressure:
2.8 bar

La simulación muestra tras unos miles de días una estabilización de la temperatura superficial en Ummo del orden de +15°C con los parámetros anteriores. Si corregimos el CO₂, obtenemos +19°C. Se trata de un valor elevado para ser un valor medio, especialmente si se compara con el valor de +12°C disponible en Ummo Wiki sobre el ecuador de Ummo: no es un valor medio. Recordemos que el valor terrestre obtenido por el GCM 1D es correcto y es de +13 °C de media.

Este resultado es bastante alentador desde el punto de vista de los órdenes de magnitud, para una metalicidad de lumma de -0,3.

Otra simulación, con una metalicidad idéntica a la del Sol, es decir, cero, induce un flujo de 375 W/m² en la simulación, lo que a su vez da una temperatura estabilizada pero glacial del orden de -24°C, que se reduce a -20°C tras la corrección.

4) Metalicidad de Iumma y temperatura media sobre la superficie de Ummo

Los datos siguientes se obtuvieron el 1 de febrero de 2021.

$$[\text{Fe}/\text{H}] = -0.0854 \text{ dex}; [\alpha/\text{Fe}] = +0.0591 \text{ dex}$$

- a) Si inyectamos el valor de $[\text{Fe}/\text{H}] = -0,0854$ en el modelo anterior, obtenemos un flujo de 400 W/m^2 a la distancia de 1 UA. Este valor es un 20% inferior al de la simulación anterior.

La simulación GCM 1D para 400 W/m^2 da entonces los siguientes resultados:

Temperatura media de la superficie de -18°C para un 1% de CO_2 .

Interpolando estos resultados (véase Anexo 3), obtenemos una temperatura media de unos -14°C para un equivalente de CO_2 del 2,3%.

Recordemos que la temperatura media de la Tierra calculada por GCM1D con las condiciones estándar del código es de $+13^\circ\text{C}$. Se trata de una temperatura media: si buscamos las temperaturas del mar en la Tierra en función de las latitudes, obtenemos los gráficos que figuran en el Apéndice 1 (meteociel.fr).

Se puede deducir que entre la temperatura media y la máxima en el ecuador hay una diferencia de hasta $+18^\circ\text{C}$, al menos en la Tierra.

A partir de los resultados "terrestres" anteriores, y transponiéndolos a Ummo, **encontraríamos una temperatura de $+4^\circ\text{C}$ en el ecuador y por tanto agua líquida.**

Consideraremos ahora la dispersión de $\pm 0,08$ de magnitud en la relación (1) tal y como la especifican los autores, es decir, una dispersión de brillo entre 1,076 y 0,929. Partiendo del valor central de 400 W/m^2 , obtenemos un rango de posibilidades entre 430 W/m^2 y 372 W/m^2 .

La simulación GCM1D para 375 W/m^2 se hizo anteriormente y da una temperatura media de -24°C .

La simulación GCM1D para 430 W/m^2 da los siguientes resultados:

Temperatura media en la superficie de -11°C para un 1% de CO_2 .

Esto es, una temperatura media de unos -7°C para un 2,3 % de CO_2 en la superficie de Ummo. Y a partir de lo que ocurre en Tierra y transponiéndolo a Ummo, encontraríamos una temperatura de $+11^\circ\text{C}$ en el ecuador y por tanto agua líquida.

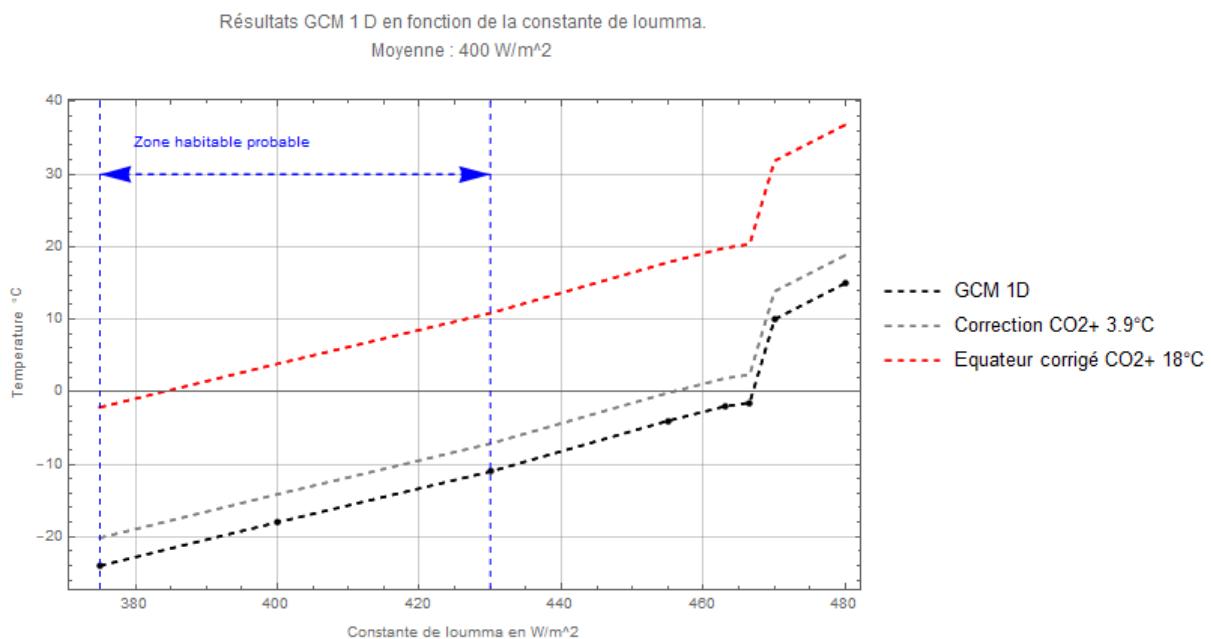
5) Síntesis de simulaciones GCM 1D

El siguiente gráfico ilustra los resultados obtenidos con GCM 1D: los puntos calculados en bruto se muestran en negro y proporcionan una temperatura media para un 1% de CO₂. Los parámetros de simulación son idénticos a los de la tabla anterior, el único parámetro que cambia es el flujo a 1UA.

Si aplicamos una corrección de +4°C para tener en cuenta los gases de efecto invernadero (CO₂ 1,8%, CH₄ 0,5% en equivalente de CO₂) obtenemos la curva gris, que ofrece de nuevo la temperatura media en Ummo.

Si aplicamos entonces una corrección de +18°C, obtenemos la temperatura máxima en el ecuador de Ummo en rojo.

Obsérvese que en el límite de la zona superior posible de 430 W/m² según nuestro modelo, obtendríamos +11 °C en el ecuador, lo que está muy cerca del valor presentado en Ummo Wiki que da una temperatura ecuatorial de +12 °C.



Este último gráfico muestra la importancia de conocer con precisión la constante de l'umma: en efecto, estamos pasando rápidamente de un planeta glacial a un planeta de tipo terrestre.

Nota: Hay una especie de salto proporcionado por la simulación cuando la temperatura media se acerca a los 0°C. Este salto, fuera de la zona de interés, refleja probablemente la energía necesaria para la transición sólido-líquido del agua.

5) Apartado sobre lo que aporta el índice $[\alpha/\text{Fe}]$.

Los elementos alfa se llaman así porque sus isótopos más abundantes son múltiplos enteros de cuatro, es decir, de la partícula alfa (núcleo de He). Los elementos alfa estables son: [C](#), [O](#), [Ne](#), [Mg](#), [Si](#) et [S](#).

Si explotamos la información adicional obtenida sobre $[\alpha/\text{Fe}]$, obtenemos una interesante indicación de la posible edad de Ioumma que sería de 6.300 millones de años como se muestra a continuación, gracias a la siguiente publicación de 2019.

MNRAS 489, 1742–1752 (2019)
Advance Access publication 2019 August 17

doi:10.1093/mnras/stz2221

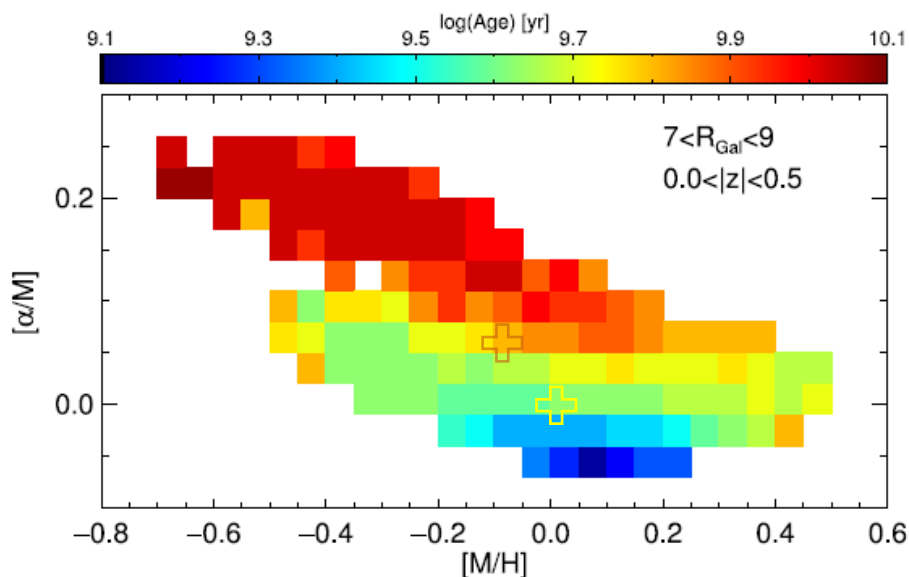
Spatial variations in the Milky Way disc metallicity–age relation

Diane K. Feuillet^{1,★}, Neige Frankel,¹ Karin Lind,^{1,2} Peter M. Frinchaboy,³
D. A. García-Hernández,^{4,5} Richard R. Lane,^{6,7} Christian Nitschelm⁸
and Alexandre Roman-Lopes⁹

Identificando la metalicidad $[M]$ de la publicación con la del Fe (lo que suele ser el caso), el siguiente gráfico da una pista sobre la posible edad de Ioumma.

La cruz marrón se sitúa en los valores

$$[\text{Fe}/\text{H}] = -0.0854 \text{ dex}; [\alpha/\text{Fe}] = +0.0591 \text{ dex}$$



El color del gráfico a nivel de la cruz marrón da una idea de la edad de Ioumma: se lee aproximadamente 9,8 en la escala de los colores, es decir, 6.300 millones de años.

Para el sol, siendo los valores $\{0,0\}$ por definición, tenemos a nivel de la cruz amarilla un color que lleva a 9,65 o 4,5 mil millones de años.

Conclusión

Para estimar la habitabilidad de UMMO, necesitamos el flujo suministrado por la estrella Yumma a la distancia de 1 UA; este flujo constituye lo que podría llamarse la constante de Yumma equiparándola a la que llamamos constante solar (1360 W/m^2 a 1 UA); este flujo puede calcularse a partir de la información que poseemos, como masa y temperatura de la estrella, pero también teniendo en cuenta la metalicidad de Yumma.

Con una metalicidad de $-0,0854$, obtenemos una temperatura superficial media en Ummo del orden de $-14 \text{ }^\circ\text{C}$. Trasladando lo que ocurre en la Tierra a partir de la temperatura media, teniendo en cuenta las variaciones según la latitud, se deduciría la existencia de agua líquida en el ecuador de Ummo, con una temperatura positiva de $+4^\circ\text{C}$.

Entonces, teniendo en cuenta las incertidumbres de la ley de corrección de la magnitud en función de la metalicidad, llegamos a aumentar ligeramente la magnitud y por tanto la luminosidad en un factor $1,076$. El flujo obtenido conduce así, con el mismo razonamiento que antes, a una temperatura ecuatorial en Ummo de $+11 \text{ }^\circ\text{C}$.

Este resultado es globalmente satisfactorio porque no estamos lejos del valor medio presentado en Ummo Wiki de $+12^\circ\text{C}$ en el ecuador.

Todo esto significa que una desviación inferior al 10% en la estimación de la luminosidad de Yumma conduce a resultados tales que permaneceríamos dentro de la zona de habitabilidad de Yumma, pero con un planeta Ummo cuyo clima puede variar de glacial a terrestre.

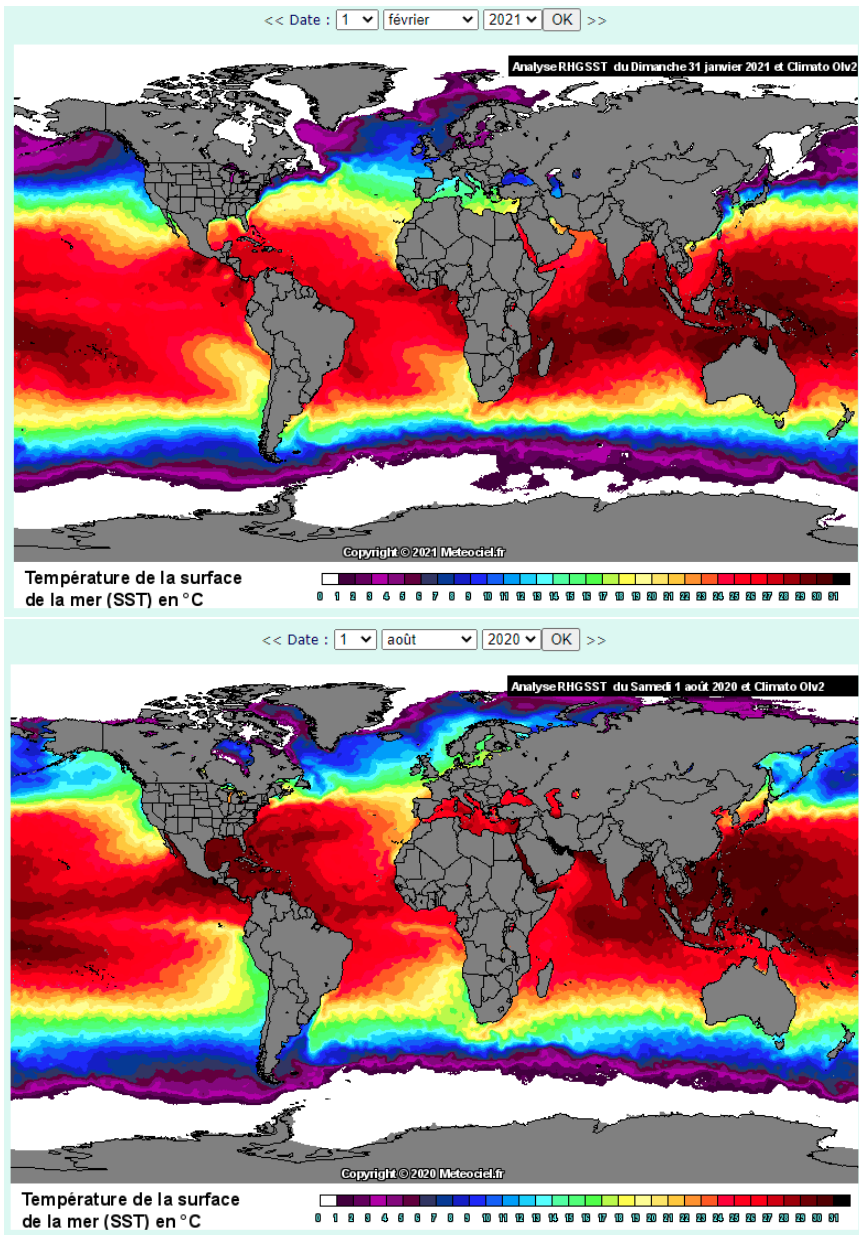
Es posible que nos encontremos en los límites de las barras de incertidumbre combinadas de los diferentes parámetros utilizados para este estudio, incluidos los generados por el código GCM1D. No se ha hecho la estimación de las diferentes barras de incertidumbre (aparte de la de la corrección de la magnitud en función de la metalicidad).

A lo sumo, se podría concluir que Ummo se encuentra en la zona habitable de Yumma, aunque en el borde, y que probablemente sea necesario estar cerca del ecuador del planeta para tener una mejor oportunidad de tener agua en forma líquida.

Hay un punto que hay que aclarar: **la composición de la atmósfera de Ummo está incompleta**, ya que falta la información sobre "otros gases": el 9%, no obstante.

¿Podrían ser otros gases, incluidos los de efecto invernadero? Mencionemos como ejemplo el hecho de que el 0,02% de metano (valor Ummo) puede traducirse por un CO_2 equivalente del 0,5%, lo que no es despreciable.

ANEXO 1 Temperaturas en la superficie del mar para las fechas: 1/02/2021 y 1/08/2020

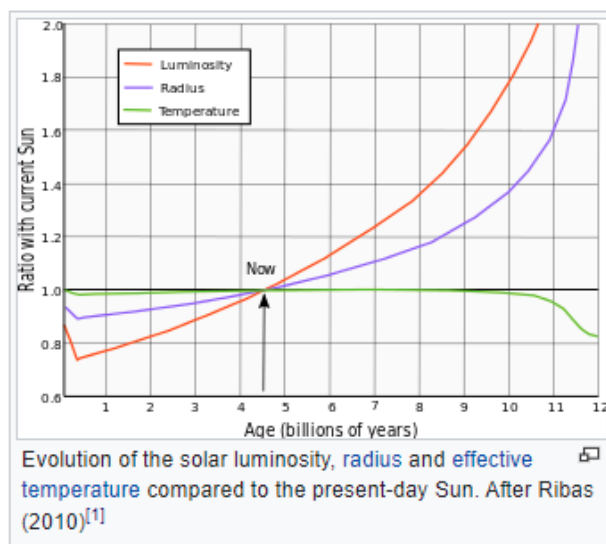


ANEXO 2

El valor obtenido para la edad de Ioumma es interesante, porque sabemos que el Sol, por ejemplo, va aumentando su constante solar durante su vida. Véase, por ejemplo, la siguiente publicación:

Ribas, Ignasi (February 2010), "[The Sun and stars as the primary energy input in planetary atmospheres](#)" (PDF), *Solar and Stellar Variability: Impact on Earth and Planets, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, **264**, pp. 3–18, [arXiv:0911.4872](#), [Bibcode:2010IAUS..264....3R](#), [doi:10.1017/S1743921309992298](#)

La siguiente curva procedente de la referencia anterior muestra, por ejemplo, que la constante solar aumentará aproximadamente un 15% cuando el sol alcance los 6.300 millones de años, debido al aumento de su radio.



Esta información podría quizás inducir un término correctivo a este estudio, pero no hay una teoría clara para utilizarla con rigor en este momento.

Por lo tanto, esta información no ha sido utilizada en este estudio.

ANEXO 3

Interpolación de los resultados según el nivel de CO2 y teniendo en cuenta el metano.

La siguiente curva se construye con el código GCM 1D y los parámetros del texto.

Para estas simulaciones se ha elegido el valor de flujo de 430 W/m^2 .

Los puntos rojos son los resultados de la simulación realizada para {400 ppm,900 ppm, 1%,10%} de CO2.

La curva azul es un ajuste mediante una ley del tipo $f[x]= a+cx+b\text{Log}[x]$, teniendo en cuenta estos parámetros $\{a \rightarrow 253.429, b \rightarrow 2.465, c \rightarrow 1.391\}$.

Utilizando esta ley, determinamos una corrección de $+3,86 \text{ }^\circ\text{C}$ que hay que hacer a la temperatura al pasar del 1% de CO2 al 2,3% de CO2.

Este 2,3% proviene de tener en cuenta el propio CO2 (1,8%) y el metano, 25 veces más "eficiente" que el CO2, es decir, $25 \cdot 0,02\% = 0,5\%$ más.

