

Un vistazo a los límites del crecimiento de nuestra civilización dentro del sistema solar interior.

Segundo Congreso Nacional de Actividades Espaciales México del 10 al 12 de noviembre de 2021.

José Ernesto Nájera Carpio, jenac@ier.unam.mx

Resumen

Resultado de una investigación básica en el que se plantea un escenario ideal de colonización humana dentro del sistema solar interior, basado en las distancias y tiempos de traslado con la tecnología actual, se asume la expansión de nuestra civilización en un lapso de mediano plazo que cubre desde la Luna hasta el planeta enano Ceres que se ubica en el cinturón de asteroides, siendo éste la frontera que divide al sistema solar interior del exterior, pasando por Marte. Las crecientes actividades humanas han derivado en la sobre explotación de los recursos naturales del planeta Tierra, por lo tanto, se ha sugerido que es momento de abrir nuestro horizonte e iniciar la colonización y explotación de los recursos del universo.

Es lógico como primer paso, asumir la colonización del sistema solar interior acorde a las condiciones actuales de desarrollo económico y tecnológico, lo que plantea el desafío de soportar la vida humana en cuerpos celestes que presentan condiciones adversas de habitabilidad. Para simplificar el análisis, el estudio asume condiciones ideales de terraformación de la Luna, Marte y Ceres, con la intención de dilucidar las capacidades reales del crecimiento demográfico en función a la disponibilidad de fuentes primarias de energía y de la superficie disponible en cada caso. La ausencia de agua en estado líquido, así como el enfriamiento prematuro de los núcleos de dichos cuerpos celestes, condicionan a que el Sol represente la principal fuente de energía, siendo la energía nuclear la única posibilidad como respaldo en caso de emergencia, al mismo tiempo, en Marte, el estudio demuestra que adicionalmente se pudiera contar con el aporte de la energía provista por el viento.

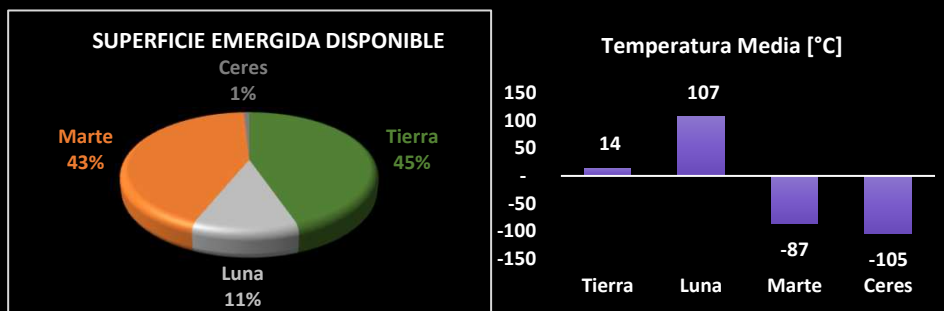
Sin considerar la superficie oceánica de la Tierra, la adición de los tres cuerpos celestes para la expansión de nuestra civilización implicaría un aumento del 123.5% respecto a la superficie emergida de nuestro planeta, sin embargo, basado en un análisis del balance energético entre el costo de soportar la vida bajo las mismas condiciones en cada cuerpo celeste y la disponibilidad energética para cada uno, se concluye que el crecimiento demográfico máximo posible sería menos del 6% adicional al máximo previsible por las Naciones Unidas en el año 2100, que es de 11,200 millones de habitantes. Finalmente, el estudio sugiere que la Tierra, ha sido, es y será la mejor opción para el desarrollo y crecimiento de la humanidad dentro de nuestro sistema solar.

Condiciones básicas

Las Naciones Unidas estiman que la población máxima que podrá soportar el planeta Tierra será de aproximadamente 11 mil 200 millones de habitantes para el año 2100 [1]. Lo que supondría una densidad máxima poblacional de 75 habitantes por kilómetro cuadrado. Debido a esto, muchos entusiastas, empresarios, gobernantes y en general miembros de la sociedad civil a nivel mundial apuntan a que ha llegado el momento de expandir nuestros horizontes e iniciar un proceso de colonización espacial, que permita incrementar la disponibilidad de recursos naturales a los que el ser humano tiene acceso y que como resultado pueda incrementar la actividad económica de nuestra civilización. En este punto es válido preguntarse **¿Cuál es el límite real al crecimiento de nuestra civilización si como primer paso asumiéramos que en dicho año (2100) la humanidad tuviera los medios económicos y tecnológicos para poder colonizar ampliamente el sistema solar interior?**



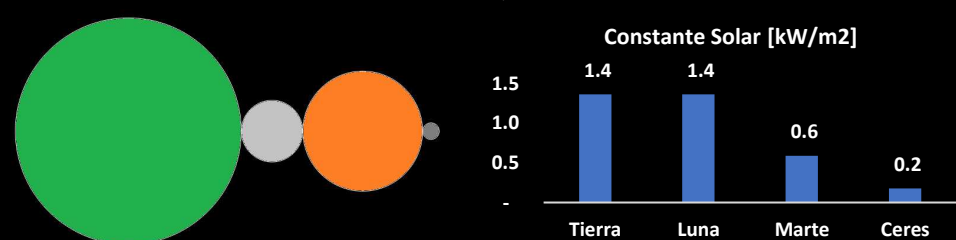
Los esfuerzos de las agencias espaciales han estado enfocados en la investigación del planeta Marte, por sus similitudes con el planeta Tierra, sin embargo, en este ejercicio se han considerado también la posibilidad de colonizar la Luna y el planeta enano Ceres, ubicado en el cinturón de asteroides, justo en el límite entre el sistema solar interior y el exterior, asumiendo que son cuerpos que junto a la Tierra pudieran estar localizados en la región habitable del Sol.



Sin considerar la superficie oceánica del planeta Tierra y asumiendo que los otros tres cuerpos celestes considerados son rocosos, el incremento teórico respecto a la superficie emergida del planeta Tierra para la expansión de la especie humana sería de 124%, como se muestran en las comparativas respecto a la extensión superficial de algunos países. Por otro lado se asumen condiciones ideales de terraformación para dichos objetos. Fuera de nuestro planeta, la disponibilidad de recursos energéticos es limitada, esto debido a que respecto de la Tierra el resto de los cuerpos son de menor tamaño, lo que implica un enfriamiento prematuro de sus núcleos, lo que hace suponer que prácticamente el Sol representaría la única fuente de energía disponible, ya que la ausencia de agua en estado líquido coloca a la energía nuclear como la única posibilidad de respaldo en caso de emergencia. Por lo que se refiere al planeta Marte, a pesar de tener una muy tenue y poco densa atmósfera, se han registrado velocidades de viento que oscilan entre los 16 y 32 [km/hr] que es suficiente para asumir el aporte adicional de la energía eólica [2].

Cuerpo celeste	Petróleo	Carbón	Gas Natural	Nuclear	Solar	Viento	Geotermia	Bioenergía	Hidráulica	Maremotriz
Tierra	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Luna	-	-	-	Si	Si	-	-	¿?	-	-
Marte	-	-	-	Si	Si	Si	-	¿?	-	-
Ceres	-	-	-	Si	Si	-	-	¿?	-	-

Una comparativa a escala real, nos muestra las dimensiones de los cuatro cuerpos celestes considerados en el presente trabajo (Tierra, Luna, Marte, Ceres), que a su vez presenta la necesidad de considerar no solo su extensión territorial como variable de interés, sino también la disponibilidad del recurso solar en cada uno de ellos, en función de su distancia media al Sol.



Comentarios finales

A pesar de la simpleza del estudio, queda mas que claro que la Tierra ha sido, es y será la mejor opción para el desarrollo sustentable de nuestra civilización, quedando de manifiesto que habitar otros cuerpos celestes implica un alto consumo energético que se traduce en un incremento del costo de la vida, por lo que si bien, la exploración, colonización y explotación de los recursos naturales, que fuera de nuestro planeta podamos realizar, esto no sustituirá la importancia de preservar la integridad ecológica de nuestra cuna cósmica.

El límite al crecimiento demográfico no se resolverá colonizando la Luna o Marte, al tiempo que se puede vislumbrar que las condiciones de habitabilidad fuera de nuestro planeta no serán mas atractivas respecto a lo que ya disfrutamos hoy en día, por lo que mas allá de alguna actividad industrial, de investigación o turismo espacial no es previsible que la gente se sienta motivada a emigrar de la Tierra.

Fuentes

[1] <https://www.un.org/es/global-issues/population>

[2] <https://airandspace.si.edu/exhibitions/exploring-the-planets/online/solar-system/mars/wind/>

Desarrollo

Con base a la ley de Stefan-Boltzmann (1) se puede estimar la densidad del flujo de la radiación solar en las orbitas de cada uno de los objetos celestes estudiados, para simplificar el análisis no se consideran atenuaciones por reflexión o absorción atmosférica si fuese el caso. Por otra parte tomando como punto de partida la temperatura media observada en cada uno de dichos objetos se calcula la energía térmica necesaria para acondicionar un metro cubico de aire a 190 metros sobre el nivel del mar (en la Tierra) a 23°C que es una condición estándar (2).

$$K \left[\frac{W}{m^2} \right] = \sigma T_s^2 \left(\frac{r_s}{a_0} \right)^2 \quad (1)$$

$$Q[U] = mc\Delta T \quad (2)$$

Donde:

K representa la constante solar, que es la densidad del flujo de la radiación del Sol

σ representa la constante de Stefan-Boltzmann

T_s representa la temperatura media del Sol

r_s representa el radio del Sol

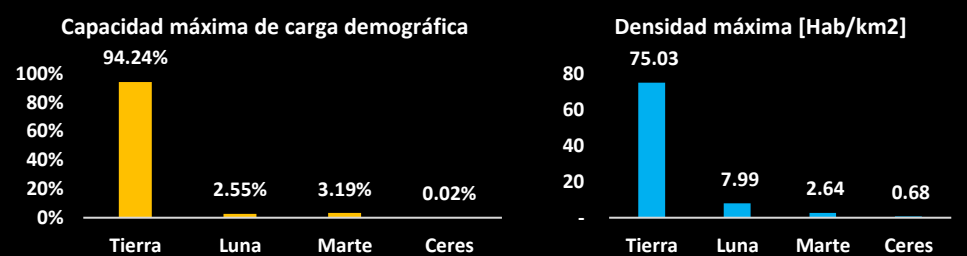
a_0 representa el radio orbital de cada uno de los cuerpos celestes

m representa la masa de 1 kilogramo de aire a 190 msnm y 23°C

c representa la capacidad calorífica específica del aire

ΔT representa la diferencia entre las temperaturas medias de cada objeto celeste y 23°C

Realizando un balance entre la densidad del flujo de energía solar disponible y la energía necesaria para soportar las condiciones de habitabilidad en cada uno de los cuerpos celestes estudiados, se obtiene un consumo energético por habitante como un punto de referencia del costo de la vida, lo que permite estimar las capacidades máximas, tanto de carga demográfica como de densidad poblacional en cada uno de ellos, lo que a su vez permite vislumbrar los límites reales al crecimiento de nuestra civilización bajo este escenario de estudio.



Conclusiones

El análisis sugiere que respecto a la previsión de las Naciones Unidas para el año 2100, el incremento poblacional representaría tan solo un superávit de menos del 6% a la vez que se observa que al alejarse del Sol, el costo de la vida aumenta dramáticamente, reflejándose en una disminución de la densidad poblacional que cada cuerpo podría ser capaz de soportar. Por lo que la estimación final del crecimiento de la población humana estaría en torno a los 11 mil 900 millones de habitantes, poco menos de 700 millones de habitantes mas respecto a la previsión oficial de las Naciones Unidas. Esto es equiparable a las actuales poblaciones de Brasil, Nigeria, México y Japón juntos.



En el caso del planeta Marte, a pesar de que su superficie representa toda la superficie emergida del planeta Tierra exceptuando a Kazajistán y Argentina, la población máxima que podría soportar representaría a las actuales poblaciones de Pakistán y Rusia. En lo que respecta al satélite natural de la Tierra, su superficie equivale a la extensión territorial conjunta de Rusia, Canadá, China y Perú, sin embargo, la población máxima estimada sería equiparable a las actuales poblaciones de Etiopía, Egipto y Vietnam. Finalmente en cuanto al planeta enano Ceres, su superficie es similar a la de Argentina pero su población máxima estimada podría compararse a la de Letonia.