

VENUS Y EL FIN DEL MUNDO

RESUMEN

Este artículo busca demostrar que los argumentos generales acerca de la exploración científica valen también para las ciencias espaciales. El trabajo se basa en el ejemplo de la exploración de Venus y lo que esta nos dice acerca de nuestro propio planeta. Argumenta que el concepto de la probabilidad de Leslie es incorrecto, como también lo son las dudas sobre la evidencia Venusiana. Así mismo, concluye que no se puede rechazar la importancia que tienen los descubrimientos inesperados que han resultado de la exploración de Venus para ayudarnos a comprender nuestro propio planeta. Y que si van a ser rechazados estos descubrimientos debe ser por razones científicas, no por intuiciones acerca de la probabilidad.

PALABRAS CLAVE

Venus, placas tectónicas, probabilidad, deuterio, hidrógeno, exploración del espacio, descubrimientos inesperados

ABSTRACT

This article seeks to demonstrate that the general arguments about scientific exploration are also suitable for space sciences. The work is based on the example of the exploration of Venus and what it tells us about our own planet. It argues that Leslie's concept of probability is incorrect, as are also the doubts on Venusian evidence. Likewise, it concludes that we cannot deny that the unexpected discoveries that have resulted from the exploration of Venus are important to help us understand our own planet. And if these discoveries are going to be rejected, it must be for scientific reasons and not for intuitions about probability.

KEY WORDS

Venus, tectonic plates, probability, deuterium, hydrogen, exploration of the space, unexpected discoveries.

eidos

ISSN: 1692-8857

Fecha de recepción: abril 2005

Fecha de revisión: mayo 2005

Fecha de aceptación: junio 2005

VENUS Y EL FIN DEL MUNDO

Gonzalo Munévar*

INTRODUCCIÓN

Los descubrimientos inesperados que han resultado de la exploración de Venus nos ayudan a comprender nuestro propio planeta. Una hipótesis interesante conecta la presencia de una esfera biológica (biosfera) con la existencia de placas tectónicas, apoyándose, como veremos, en la alta proporción de deuterio a hidrógeno en la atmósfera de Venus. Pero esta evidencia ha sido puesta en cuestión por un argumento probabilista análogo al argumento paradójico de John Leslie –que a su vez se basa en el Principio Antrópico– cuya conclusión es que el crecimiento de la población humana sugiere, con probabilidad alta, que el fin de la humanidad está cerca. En este trabajo argumentaré que el concepto de la probabilidad de Leslie es incorrecto, como también lo son las dudas sobre la evidencia venusiana.

CONTEXTO HISTÓRICO

René Descartes, cuyo desarrollo de la geometría analítica tuvo mucho que ver con el éxito de la revolución científica, pospuso la publicación de su obra sobre la física cuando la iglesia persiguió a Galileo por defender ideas acerca del universo que disturbaban la armonía entre hombre y Dios. Descartes se lamentaba que el esconder sus descubrimientos podría ser un pecado grave contra “la ley que nos

* Lawrence Technological University. Dirección postal: Humanities, Lawrence Technological University 21000 W. Ten Mile Rd. Southfield, MI 48075. munevar@ltu.edu

obliga a procurar el bien general de la humanidad”.¹ Le parecía a él que “uno podría lograr conclusiones de gran utilidad en la vida y descubrir una filosofía práctica. . . que nos mostraría la energía y la acción del fuego, del aire, de las estrellas, el cielo, y todos los otros cuerpos de nuestro ambiente con la misma destreza que manejan sus artes nuestros artesanos”.² Una vez en posesión de semejante conocimiento, podríamos aplicarlo, como aplicamos las artesanías, “a todos los usos apropiados y así nos haríamos amos y dueños de la naturaleza”.³

Descartes nunca justificó este optimismo por la utilidad profunda de la ciencia (como tampoco lo hizo Francis Bacon, quien tenía una intuición similar). En otros trabajos he tratado de superar este problema argumentando que el carácter mismo de la exploración científica lleva naturalmente a descubrimientos inesperados y que en tales descubrimientos encontramos la clave para la utilidad profunda que intuyó Descartes.⁴ En mi argumento utilizo esta conexión entre el carácter (o la naturaleza) de la ciencia y su utilidad fundamental para desarrollar una justificación de la exploración del espacio.

Resumo a continuación mi argumento general acerca de la exploración científica.

1. Los puntos de vista científicos (tales como los paradigmas de Kuhn o las teorías comprensivas de Feyerabend) son instrumentos para la interacción con el universo, y nos dicen cómo es el universo.
2. Tales puntos de vista determinan de qué problemas, peligros y oportunidades podemos ser conscientes.

1 Rene Descartes, *Discourse on Method*, in *Descartes' Philosophical Writings*, traducida y editada por E. Anscombe y P.T. Geach, publicada por Thomas Nelson and Sons, 1969, p. 46. Para algunos pasajes del *Discourse* he preferido la traducción de H.S. Haldane y G.R.T. Ross en *The Philosophical Works of Descartes*, Vol. I, Cambridge University Press, 1972.

2 *Ibid.*

3 *Ibid.*

4 G. Munévar, *Evolution and the Naked Truth*, Ashgate, 1998, Cap. 13, pp. 169-179.

3. Al cambiar nuestros puntos de vista cambiamos por ende nuestro panorama de problemas, peligros y oportunidades.
4. Al cambiar nuestro panorama de problemas, peligros y oportunidades, se nos presenta también la oportunidad de pensar en nuevas soluciones y nuevas tecnologías. Esta condición es precisamente la que conduce a los descubrimientos inesperados (inesperados, es decir, cuando comenzamos a desarrollar un nuevo punto de vista.)
Podemos concluir entonces que:
5. El hacer descubrimientos inesperados es el resultado (prácticamente inevitable) del cambio científico.
Por lo tanto:
6. Dado que la exploración obliga a la ciencia a cambiar, la exploración crea la oportunidad de hacer descubrimientos inesperados.

No voy a examinar en más detalle este argumento aquí, puesto que mi propósito en resumirlo es simplemente el de proveer un contexto para la discusión principal de este trabajo. Una posible limitación del argumento es que su validez se extiende a la ciencia pura únicamente, dado que sólo ésta constituye o forma nuestros puntos de vista. Una gran parte de mi tarea consiste en demostrar que mi argumento general acerca de la exploración científica vale también para las ciencias espaciales, a pesar de que tales ciencias a menudo han sido denigradas como simples aplicaciones o derivaciones de la ciencia fundamental.

Una táctica provechosa es la de demostrar por medio de ilustraciones cómo la exploración científica del espacio exhibe también la utilidad profunda en cuestión, es decir, las consecuencias importantes que esa exploración tiene para nosotros en la Tierra. Me restringiré a un ejemplo de la exploración del sistema solar: la valiosa exploración de Venus y lo que nos dice acerca de nuestro propio planeta.

VENUS

La atmósfera de Venus contiene, entre otras cosas, moléculas de flúor y cloro. Los científicos de la NASA han examinado el comportamiento de esas moléculas, en particular las constantes de proporción de sus reacciones químicas. Esas constantes fueron utilizadas más tarde por Sherwood Roland y Mario Molina para descubrir que los carbonatos de flúor y cloro (los CFCs) destruyen el ozono cuando se encuentran en presencia de alta radiación ultravioleta. Descubrieron, es decir, que la capa de ozono de la atmósfera terrestre estaba en peligro.

Este descubrimiento fue una sorpresa muy desagradable tanto para muchos investigadores como para las industrias, puesto que los CFC habían sido desarrollados precisamente porque se suponían inertes y, por consiguiente, no podían causar daños. Parecían hechos a la medida para uso en aerosoles, refrigeradores, y equipos de aire acondicionado. A grandes altitudes, desafortunadamente, la radiación ultravioleta destruye las moléculas de CFC y el cloro liberado, a su vez, destruye las moléculas de ozono. Este descubrimiento fue confirmado por Michael McElroy, cuyo grupo tenía la experiencia necesaria puesto que, como lo indicó Carl Sagan, había estado investigando las reacciones químicas del cloro y del flúor en la atmósfera venusiana.⁵

La presencia de un agujero grande en la capa de ozono sobre la antártica fue confirmada por la información obtenida a través de satélites, y más tarde fue presentada de forma vívida y dramática por las fotos que tomaron también satélites. Gracias a tal información, pudieron ponerse de acuerdo los científicos, las industrias y los gobiernos para prohibir los CFC, con el objeto de reducir para el año 2010 significativamente la amenaza que estos presentaban.

Este ejemplo ilustra muy bien cómo el estudio comparado de los planetas produce beneficios inesperados. Al investigar la atmósfera

⁵ Sagan, C., *Pale Blue Dot*, Random House, 1994, p. 222. En esta sección me he basado en el libro de Sagan.

de Venus transformamos nuestro conocimiento de atmósferas planetarias, y gracias a esa transformación nos enteramos de un serio problema; la tecnología espacial nos ayuda a controlarlo y quizá a resolverlo.

Un problema mayor aún es el de los factores que afectan el clima de la tierra y las consecuencias de los cambios climatológicos. Afortunadamente, Venus tiene un medio ambiente extremo y, por lo tanto, presenta una buena oportunidad para examinar las relaciones entre el clima de un planeta y otros sistemas internos a ese planeta (tales como su biosfera, geofísica, etc.). El principio que opera aquí es el mismo que opera en el resto de las ciencias; por ejemplo, las temperaturas extremas pueden revelar las relaciones entre las distintas fuerzas estudiadas por la física, o las dosis extremas de una sustancia (dadas a ratas de laboratorio) pueden revelar la posible acción de esa sustancia en el desarrollo del cáncer en los seres humanos.

Sabemos que los seres vivos, la biosfera, regulan en gran medida la temperatura de la tierra al absorber y desprender CO_2 y otros gases de invernadero. También sabemos que el clima tiene una fuerte influencia en esos mismos seres vivos y que la temperatura es, por supuesto, un factor clave para el clima. Parece obvio también que el clima tiene sólo un efecto superficial sobre la geofísica del planeta, y que no tiene sentido hablar de una relación entre los seres vivos y la estructura geofísica del planeta. Por ejemplo, la tormenta más poderosa y la bomba nuclear de más megatones jamás inventada serían apenas una picadura de zancudo comparadas con las fuerzas tectónicas del planeta.

La exploración de Venus, sin embargo, nos puede hacer pensar las cosas de una manera diferente, a pesar de que Venus, prácticamente un gemelo de la tierra en tamaño y masa, ha sido un planeta muy difícil de explorar. La densa capa de nubes esconde la superficie de nuestra vista y contiene una cantidad de CO_2 300.000 veces más grande que la de la atmósfera de la tierra. El efecto invernadero producido por semejante cantidad de CO_2 ha creado una temperatura de 460°C en la superficie, más que suficiente para derretir plomo. En ese horno, las sustancias volátiles se mantienen lejos de la superficie,

formando nubes que irradian calor hacia abajo (es decir, atrapan la energía infrarroja reflejada por la superficie y la mayoría de la luz solar es reflejada al espacio por las nubes, lo que explica por qué Venus es tan brillante). La densidad de la atmósfera es 100 veces más que la de la tierra, lo que le da a un viento de 15 km/h la fuerza de un huracán; y mientras que la lluvia en la tierra limpia la atmósfera y cambia el paisaje, en Venus la lluvia es de ácido sulfúrico y se evapora mucho antes de que pueda tocar el suelo.

En ese mundo inhóspito, nuestras naves perecen en cuestión de horas, incapaces de darnos algo más que un vago vislumbre de los alrededores. Pero con el viaje de la nave espacial *Magellan* (Magallanes) nuestra habilidad para explorar Venus cambió considerablemente. Por ejemplo, los equipos de radar de *Magellan*, en la década de los 90, nos dieron mapas de la topografía de Venus superiores a los que en esa época teníamos de la propia tierra.

Es posible que en sus comienzos Venus hubiera sido muy diferente de lo que es ahora. Cuando el sol no brillaba tanto todavía, podrían haber existido en Venus océanos, ríos y hasta vida. Pero a medida que incrementó la luminosidad del sol, la biosfera de Venus no pudo aguantar la mayor cantidad de energía y un efecto invernadero desbocado empezó a vaporizar los océanos venusinos. El aumento de vapor de agua hizo que la temperatura atmosférica se elevara aún más, lo que vaporizó todavía más agua de los océanos. A la larga los océanos terminaron en la parte alta de la atmósfera, donde la radiación ultravioleta desasoció el H₂O para formar hidrógeno atómico (H) y el radical OH. La mayor parte de los átomos de hidrógeno se escapó al espacio, mientras que el radical OH entabló una variedad de reacciones químicas con otras sustancias en la atmósfera.

Si algo parecido a este escenario tuvo lugar, deberíamos encontrar una proporción alta de deuterio a hidrógeno común. Normalmente sólo un porcentaje pequeño de átomos de hidrógeno estarían en la forma de su isótopo deuterio (el deuterio tiene un neutrón en el núcleo), pero cómo el deuterio es más pesado, tiene menos probabilidad de ser lanzado al espacio y, por consiguiente, a medida que pasó el tiempo, incrementó su proporción relativa en la atmósfera de

Venus, por lo que esperaríamos que fuese bastante alta hoy en día. Esto es exactamente lo que parece suceder (120 veces más alta que en la atmósfera de la tierra).

Al principio de los años 80 propuse que la desaparición del agua en Venus habría cambiado la viscosidad de las rocas (la resistencia al flujo) y que ello habría hecho que los movimientos tectónicos laterales fueran muy poco probables.⁶ Esta idea fue desarrollada (de forma completamente independiente) por M. Carr y otros en 1984⁷ y es hoy en día aceptada por la mayoría de los científicos.⁸ Aparentemente entonces, en contradicción con lo que parecería ser sentido común, un efecto de invernadero desbocado puede prevenir que un planeta rocoso como la tierra o Venus forme placas tectónicas.

Yendo más lejos aún, me parece que debemos considerar seriamente un corolario sorprendente: sin la regulación del clima por la vida, un planeta como la tierra puede sufrir repercusiones geofísicas a gran escala, tales como la ausencia de capas tectónicas.

Semejante corolario, que hubiera parecido demasiado extravagante hace más de veinte años, es considerado bastante razonable hoy en día. Es posible incluso que el razonamiento que nos lleva a proponer la modulación biológica de los movimientos tectónicos vaya más lejos todavía. Como dice el científico planetario D.H. Grinspoon,

Si usted está de acuerdo con ello [la modulación biológica] entonces debe aceptar también que la evolución termal interna de la tierra ha sido afectada por su atmósfera y biosfera cambiantes, porque las placas tectónicas son el principal mecanismo por el que la tierra enfría su interior. Ni siquiera regiones tan remotas como la parte superior del centro, hierro fundido que produce el campo magnético de la tierra al

⁶ Recuerdo que cuando propuse esta idea en una conversación informal con científicos planetarios del Ames Research Center de la NASA, en California, estos me aseguraron que dadas las altas temperaturas de Venus las rocas se comportarían como mantequilla muy caliente.

⁷ *The Geology of the Terrestrial Planets*, op. cit., p. 77.

⁸ Hay aquellos que creen discernir algo parecido a las trincheras y crestas creados por los movimientos de las placas tectónicas en medio de los océanos terrestres, pero nada de la misma envergadura.

rotar, permanecen inmunes a los modificantes efectos del peculiar aire terrestre, de esa excepcional cubierta gaseosa con un toque biológico.⁹

Todos los sistemas de un planeta están, entonces, conectados más íntimamente de lo que habíamos pensado. Y la vida, aunque es escasamente una capa delgada que cubre nuestro mundo, puede haber sido un factor importante en la formación de la extraordinaria estructura dinámica del planeta.¹⁰

EL FIN DEL MUNDO

Es importante mencionar, sin embargo, que la hipótesis de que Venus tuvo océanos en un momento temprano de su historia, tan razonable como parece ser, no es aceptada universalmente. La razón es que tal hipótesis depende crucialmente de la proporción de deuterio a hidrógeno común como evidencia de que Venus ha perdido una cantidad sustancial de agua. Pero ésta no es la única interpretación posible de esa proporción.

Algunos científicos argumentan que esa misma proporción de deuterio a hidrógeno podría ser causada por un continuo abastecimiento de agua a la atmósfera de Venus. A estos científicos les parece más plausible esta hipótesis porque dada la velocidad a que se escapa, el agua habría desaparecido de Venus completamente en unos cuantos cientos de millones de años. Esto quiere decir que estaríamos presenciando el final de un proceso muy largo. Esta coincidencia no le molestaría a la mayoría de los estudiosos, pero algunos creen que es demasiado afortunada y que en la ciencia deberíamos mirar con sospechas a todas las coincidencias afortunadas.

⁹ D.H. Grinspoon, *Venus Revealed*, Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1997, p. 179.

¹⁰ Todo depende de si el incremento de energía solar cuando creció el sol en brillantez hubiera sido suficiente para desbocar el efecto de invernadero en la tierra (de no ser por la acción de la biosfera, es decir). En tal caso la biosfera habría sido un freno importante, aunque no el único.

La intuición que apoya este razonamiento puede sonar bastante razonable al principio. Supongamos que una urna contiene dos bolas blancas y 98 bolas negras, mientras otra urna contiene dos bolas blancas y 9998 bolas negras. Sin saber cual urna es cual, usted mete la mano en una de ellas y saca una bola blanca. Usted debería concluir (parece) que lo más probable es que metió la mano en la urna más pequeña, puesto que la probabilidad de sacar una bola blanca es de dos en cien, una probabilidad mucho más alta que la de dos en diez mil, que es la que encontraría si metiera la mano en la urna más grande. No es razonable, entonces, creer que ha metido la mano en la urna más grande, dado que el sacar de ella una bola blanca es mucho menos probable.

La aplicación a la ciencia de tales intuiciones acerca de la probabilidad me parece problemática, sin embargo. El primer problema es que pone al razonamiento científico patas arriba. En el caso de Venus, nos lleva a concluir que la cantidad de agua que encontramos es lo normal (que ha sido así por mucho tiempo). Nos lleva entonces a suponer que las cosas deben ser como las encontramos (estado estable – “steady state”) porque de lo contrario la situación sería muy inusual y, por consiguiente, poco probable.

Notemos lo diferente que es nuestro razonamiento en la ciencia. Cuando observamos un fenómeno por primera vez hacemos todo lo posible para determinar si nuestra muestra es representativa. En el camino de la historia de la ciencia encontramos una y otra vez ideas que parecían prometedoras pero terminaron en nada porque se basaban en el presupuesto injustificado de que estábamos observando el estado normal de las cosas (es decir, cometieron la falacia de inducción). Normalmente tenemos la *obligación* de demostrar que nuestra muestra de observaciones sí representa el estado normal de las cosas. No podemos darlo por sentado. De lo contrario concluiríamos, por ejemplo, basándonos en un fósil con un esqueleto peculiar, que hemos descubierto una nueva rama de la familia *homo*, sólo para descubrir mucho más tarde que era el esqueleto de un individuo con una enfermedad de los huesos (un caso real). Al hacer ciencia nos preocupamos, nos tenemos que preocupar, de si las naves *Viking* y

Venera aterrizaron en localidades representativas en Marte y Venus, si la sonda Galileo penetró en una sección de la atmósfera de Júpiter que es como el resto de tal atmósfera (no fue así). La naturaleza es rica y variada y lo que observamos en alguno de sus rincones puede ser tan inusual como lo son las flores, los pájaros y las abejas. Ellos existen sólo en un planeta solar, la Tierra.

El tipo de razonamiento probabilista que lleva a la conclusión de que el agua en Venus existe en un estado estable conduce también a unas conclusiones muy extrañas en otros campos de investigación. Por ejemplo, el filósofo británico John Leslie concluye en su libro *The End of the World* que la especie humana está próxima a la extinción.¹¹ Razona él que si la especie humana llegara a vivir un largo tiempo, millones de años por ejemplo, entonces la cantidad de gente viva hoy sería un porcentaje insignificante de la cantidad total de seres humanos que habrán vivido cuando se termine la historia humana. Supone, claro, que la población humana seguirá teniendo la misma tasa de crecimiento que tiene ahora, y que colonizará otros mundos, lo cual permitirá su continua expansión, que a la larga puede llegar a medirse en los trillones de personas. Y le parece a Leslie que el pertenecer a un grupo tan inusual (los de esta época en vez de otra, cuando la población sea miles de veces más grande) sería extremadamente poco probable. Para que sea bastante probable que al escoger un ser humano al azar terminemos con alguien que viva en nuestra época, la presente población humana tendría que ser la más grande de toda la historia, pero no sólo de toda la historia hasta ahora, como efectivamente lo es, sino de toda la historia que habrá jamás. Eso significaría que nuestra época sería la última época humana; es decir, que lo más probable es que la especie humana se extinga muy pronto (el fin del “mundo”).

11 J. Leslie, *The End of the World*, Routledge, 1996. Leslie cree que su razonamiento probabilista nos debería hacer más temerosos de posibles cataclismos cósmicos, tales como los impactos de asteroides gigantescos y nuevos universos que crecen dentro del nuestro tragándose nuestro tiempo-espacio, así como de las guerras nucleares y otras catástrofes de creación humana.

Mucha gente sensata consideraría que el argumento de Leslie constituye un *reductio ad absurdum* contra el tipo de razonamiento probabilista que examinamos. Aún así, él se aferra a sus intuiciones probabilistas pase lo que pase, a pesar de argumentos en contra como el siguiente. Supongamos que el diablo mete a diez personas en un salón y les dice que los matará a todos si saca doble seis en una tirada de los dados. Si sobreviven, él meterá entonces 100 personas en el salón, y luego 1000, y así, siempre multiplicando por diez, hasta que saque doble seis y mate a todos los que estén en el salón. Ahora bien, a la mayoría se nos ocurre que la probabilidad de que cualquiera de los grupos perezca es de una en treinta y seis, pero de acuerdo con el razonamiento de Leslie la probabilidad de perecer es mucho más grande para el grupo de 10.000 que para el grupo de 10. A pesar de esto, Leslie no concluye que algo anda mal en su razonamiento, sino que afirma que hemos encontrado una paradoja de la probabilidad. Y el pobre señor sigue preocupándose por el fin de la humanidad por si acaso tal paradoja se resuelve a favor de su razonamiento.

PROBABILIDAD SIN PARADOJA

Las intuiciones probabilistas de Leslie se parecen mucho a las que alguna gente tiene en el caso del doble ganador de la lotería. Imagínese que usted compra boletos de lotería para el Martes y el Viernes. En ambos días hay diez millones de números posibles, así que ganar la lotería el Martes tiene una probabilidad de una en diez millones, y lo mismo es el caso para el Viernes. Imagínese ahora que usted gana el Martes. ¿Cuál es la probabilidad de que gane el Viernes también? Mucha gente piensa que la probabilidad de ganar el Viernes después de haber ganado el Martes tiene que ser mucho menor, y algunos calculan que la probabilidad sería una en diez millones por diez millones ($1/10^{14}$). Pero esto es un error. Una cosa es preguntar cuál será la probabilidad de que gane ambos días (cuando todavía no ha ganado nada). La respuesta en ese caso es ($1/10^{14}$). Otra cosa muy distinta es preguntar cuál será la probabilidad de ganar el Viernes después de ya haber ganado el Martes. Pues bien, tiene un boleto con un número

y hay diez millones de números posibles. Su probabilidad de ganar será entonces una en diez millones ($1/10^7$). Pero a gente como Leslie les cuesta trabajo aceptar una respuesta tan sencilla. Su intuición les dice que después de ganar la lotería una vez, la probabilidad tiene que ser menos en la segunda ronda, como si la probabilidad tuviera que reflejar su sentido vago de lo que es justo o merecido.

Tales intuiciones se desvanecen, sin embargo, si examinamos con cuidado un ejemplo de cómo la probabilidad crece con cada paso independiente, y exitoso, en la dirección de un resultado que sería muy improbable si calculáramos su probabilidad como una combinación de todos los pasos. Imagínese que usted va a tirar una moneda a cara o sello cien veces. ¿Cuál es la probabilidad de que salga cara cien veces? Es $1/2^{100}$, un número muy pequeño. Supongamos que la primera vez que tire la moneda le salga cara. ¿Cuál es la probabilidad ahora de que consiga cara cien veces seguidas? Le quedan 99 echadas de la moneda. Eso significa que tiene que sacar cara en todas las 99. Su probabilidad será entonces $1/2^{99}$. Ese es un número muy pequeño también, pero es dos veces mayor que el que tenía antes (porque el denominador, 2^{99} , es la mitad de 2^{100} : 2×2^{99} es 2^{100}). Confírmelo: $2^{99} + 2^{99} = 2^{100}$. Considere ejemplos más fáciles: $2^2 + 2^2 = 2^3$ ($4 + 4 = 8$) y $2^3 + 2^3 = 2^4$ ($8 + 8 = 16$.) Si su base es 3, entonces tiene que sumar tres números: $3^2 + 3^2 + 3^2 = 3^3$ ($9 + 9 + 9 = 27$). Si es 4, la suma será de cuatro números, etc.

Sigamos. Después de sacar dos caras seguidas, su probabilidad de sacar 100 caras seguidas será $1/2^{98}$, que es un número muy pequeño pero el doble de la probabilidad calculada antes del segundo tanteo y cuatro veces más grande que la del primero. Mientras más caras saque, más incrementa la probabilidad de sacar 100 caras. Imagínese que ya ha sacado 98 caras seguidas, de modo que sólo le quedan dos tanteos. Su probabilidad habrá aumentado a $1/2^2 = 1/4$. ¿99 caras seguidas? La probabilidad de sacar 100 caras seguidas depende de sacar caras en el último tanteo – es decir, $1/2$. Por supuesto, la probabilidad de sacar 99 caras y un sello también será $1/2$.

Repasemos. Al principio teníamos 2^{100} combinaciones posibles; sacar 100 caras seguidas era una de ellas ($1/2^{100}$). Pero una vez que

sacó caras en su primer tanteo, usted eliminó la mitad de las combinaciones posibles hasta ese momento: 2^{99} . Si en el segundo tanteo saca una segunda cara, entonces usted elimina nuevamente la mitad de las combinaciones existentes hasta ahí: 2^{98} . Y así sucesivamente: cada vez que saca caras (seguidas) usted elimina la mitad de las posibles combinaciones que existían hasta esa tirada de la moneda. Hasta que finalmente, cuando le queda solo una tirada de las cien, quedan sólo dos combinaciones posibles. La primera le dará 99 caras y un sello. La segunda le dará 100 caras seguidas. Ambas combinaciones son igualmente probables. Por consiguiente, su probabilidad de conseguir 100 caras cuando ya ha sacado 99 es muchísimo más grande que cuando había sacado su primera cara, y más grande todavía que cuando no había empezado, mientras que la probabilidad de sacar caras en el último tanteo es exactamente la misma que la probabilidad de sacar caras en el primer tanteo: $1/2$.

Leslie está equivocado: no hay paradoja. Otras razones también apoyan esta conclusión. En general, una probabilidad cuyo cálculo tiene en cuenta los mecanismos causales (en este caso, que el diablo matará a la gente en el salón si los dados le dan un doble seis) tiene prioridad sobre otras sin relevancia causal. Por ejemplo, supongamos que un hombre entra al hospital para que le quiten el apéndice. Los médicos le informan que la probabilidad de que la operación salga bien es de 98%, puesto que sus encuestas muestran que 98 de cada 100 pacientes que reciben esa operación quedan bien. Pero supongamos ahora que el paciente tiene 89 años de edad y encima sufre de cáncer y sus efectos debilitantes. Está claro que el primer cálculo no se aplica a su caso. Digamos que encuestas de pacientes similares (de más de 85 años y con cáncer) muestran que solo el 5% sobreviven. Es este segundo cálculo el que debería guiar su decisión de someterse a la operación o no. Le sería absurdo decir, “Ah, pero la probabilidad de que todo me salga bien todavía podría ser de 98%”.

CONCLUSIÓN

Por supuesto que la hipótesis de océanos en Venus puede estar equivocada después de todo. Es posible que el agua que se encuentra en la atmósfera sea el producto de volcanismo o de impactos de cometas, aunque en tales casos el agua le llegaría a Venus a borbotones, por decirlo así, y no se obtendría un estado estable. Es posible también que una nube de fragmentos de cometas (que son una combinación de agua y otros compuestos) pueda proveer una fuente más continua de agua, pero aún así sería difícil ver cómo un estado estable llegaría a existir, puesto que sería una coincidencia extraordinaria que la cantidad de agua que los fragmentos de cometas depositan en la atmósfera iguale la cantidad que se pierde al espacio (cuando los dos mecanismos no pueden estar acoplados: el uno se esparce por gran parte del sistema solar, el otro es interno a Venus y su cercanía al sol). Otra coincidencia extraordinaria se daría en que la proporción de deuterio a hidrógeno es la de esperar si hubieran existido océanos en Venus. Explicar tales coincidencias debe ser desagradable para aquellos que no admiten las coincidencias.

En todo caso, si llegamos a rechazar la hipótesis de océanos en Venus debería ser por razones científicas, no por intuiciones acerca de la probabilidad. Si la hipótesis no es cierta, la historia de Venus que nos permite contar variaría bastante y la conexión que veríamos entre la falta de agua y las características tectónicas de Venus podría cambiar también en algunos detalles importantes. Pero de momento, seguiremos pensando que una vez hubo océanos en Venus y que ello nos enseña lecciones importantes acerca de cómo una biosfera puede afectar la estructura geofísica misma de un planeta rocoso como la tierra.¹²

¹² Agradezco mucho los comentarios y sugerencias de la Dra. Inmaculada de Melo-Martín.

REFERENCIAS

- Carr, Michael H. (Ed.) *The Geology of the Terrestrial Planets*. NASA, 1984.
- Descartes, Rene. "Discourse on Method", in *Descartes' Philosophical Writings*, E. Anscombe y P.T. Geach (Trads and Eds.), Thomas Nelson and Sons, 1969.
- Grinspoon, D.H. *Venus Revealed*, Addison-Wesley Publishing Co. Inc., 1997.
- Haldane, H.S. y Ross, G.R.T. en *The Philosophical Works of Descartes*, Vol. I, Cambridge University Press, 1972.
- Leslie, J. *The End of the World*, Routledge, 1996.
- Munévar, G. *Evolution and the Naked Truth*, Ashgate, 1998.
- Sagan, C., *Pale Blue Dot*, Random House, 1994.