

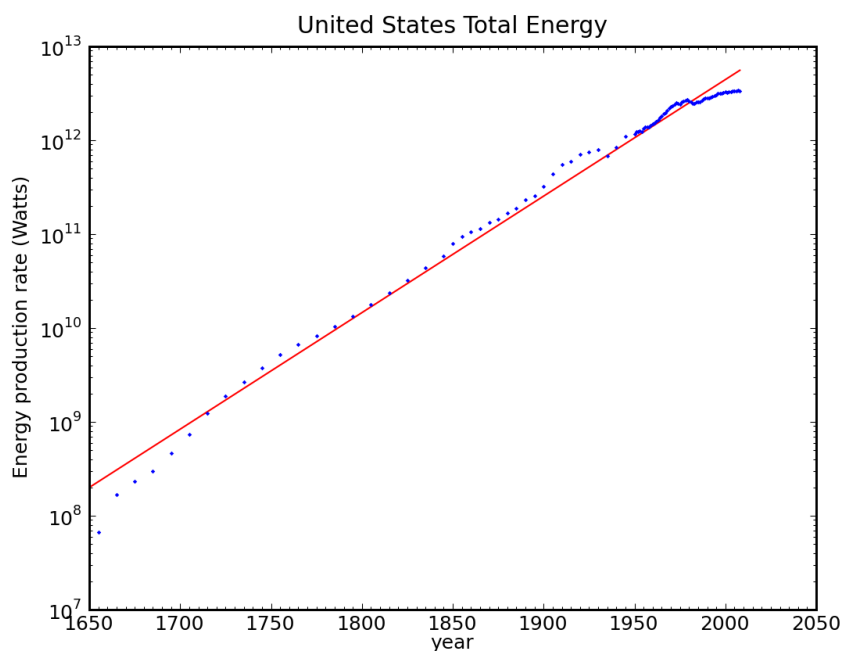
## Energía a escala galáctica

**Tom Murphy**  
**energybulletin.net**

Traducido para Rebelión por Fran Arrieta y revisado por Caty R.

Desde el comienzo de la revolución industrial, hemos visto un imponente y constante crecimiento en la escala del consumo de energía por parte de la civilización humana. Representando gráficamente los datos de la Agencia de Información de la Energía con respecto al uso de la misma en EE.UU. desde ([1635-1945](#), [1949-2009](#)), incluyendo madera, biomasa, combustibles fósiles, hidrológica, nuclear, etc.), se muestra una remarcable trayectoria de crecimiento continuo, caracterizada por una tasa anual de crecimiento del 2,9% (ver figura).

Es importante entender la trayectoria futura del crecimiento energético pues los gobiernos y organizaciones de todo el mundo hacen suposiciones basadas en la expectativa de que la tendencia de crecimiento continuará de esta manera durante siglos, y echar un vistazo a la figura sugiere que es un supuesto perfectamente razonable. (Ver [esta actualización](#) para matices.)



**Figura 1: Consumo de energía total en EE.UU, en todas las formas, desde 1650. La escala vertical es logarítmica, por lo que una curva exponencial, resultante de un crecimiento constante, aparece como una línea recta. La línea roja corresponde a una tasa anual de crecimiento del 2.9 %. Fuente: EIA.**

El crecimiento se ha convertido en un pilar de nuestra existencia, tanto es así que damos por supuesto su continuación. El crecimiento trae muchos beneficios positivos como coches, televisión, transporte aéreo e iGadgets. La calidad de vida mejora, el cuidado de la salud mejora y, dejando a un lado la proliferación de contraseñas que hay que recordar, la vida tiende a ser más práctica con el tiempo. El crecimiento también está acompañado por una promesa de futuro, dando razones para invertir en desarrollos

futuros, anticipando la devolución de esta inversión. El crecimiento es pues la base de los tipos de interés los préstamos y la industria financiera.

Debido a que el crecimiento ha estado con nosotros desde “incontables” generaciones -entendiendo por incontables a todas las personas que hemos conocido o nuestros padres han conocido y lo han experimentado- el crecimiento es parte central de nuestra narrativa sobre quiénes somos y qué hacemos. Es difícil, por lo tanto, imaginar una trayectoria diferente.

Este artículo proporciona un ejemplo notable de la imposibilidad del crecimiento continuo a la tasa actual -incluso dentro de escalas de tiempo familiares-. Por conveniencia, bajaremos la tasa de crecimiento del 2,9% al 2,3% anual, de forma que veamos un incremento en un factor 10 cada 100 años. Ponemos el cronómetro a cero hoy, con una tasa global de uso de energía de 12 teravatios, lo que significa que el habitante medio de la tierra tiene una cuota de 2000 W. del pastel). Empezaremos con cálculos semi-prácticos y en posteriores etapas dejaremos que vuele nuestra imaginación e incluso entonces veremos que topamos con los límites antes de lo que podríamos pensar. Admito de entrada que los supuestos de este análisis son profundamente imperfectos. Pero esto acaba siendo todo el quid de la cuestión.

### **Una carrera hacia la galaxia**

Siempre me ha impresionado el hecho de que consumimos en un año tanta energía como la energía solar llega a la tierra en una hora. ¡Cuántas esperanzas suscita esta afirmación! Pero no nos dejemos llevar, todavía.

Sólo el 70% de la luz del sol incidente entra en el presupuesto energético de la tierra, el resto rebota inmediatamente en las nubes, la atmósfera y la tierra sin ser absorbida. Además, siendo criaturas terrestres, podríamos considerar que nuestros paneles solares están confinados en tierra firme, siendo esta el 28% total de la esfera terrestre. Finalmente hay que señalar que las células fotovoltaicas y las plantas termosolares suelen operar con una eficiencia del 15%. Asumamos para este cálculo que esta eficiencia es del 20%. El efecto neto es de unos 7.000 TW, unas 600 veces nuestro uso actual. Mucho margen todavía, ¿no?

¿Cuándo alcanzaríamos este límite con una tasa de crecimiento del 2,3%? Nótese que nos expandimos en un factor diez cada cien años, de modo que en 200 años estaremos funcionando a 100 veces el nivel actual, y llegaríamos a los 7.000 TW en 275 años. 275 años puede parecer mucho tiempo en la escala de vida de un hombre, pero realmente no es tan largo para una civilización. Y pensemos en el mundo que acabamos de crear: ¡Cada metro cuadrado de tierra está cubierto de paneles fotovoltaicos! ¿Dónde cultivaremos entonces los alimentos?

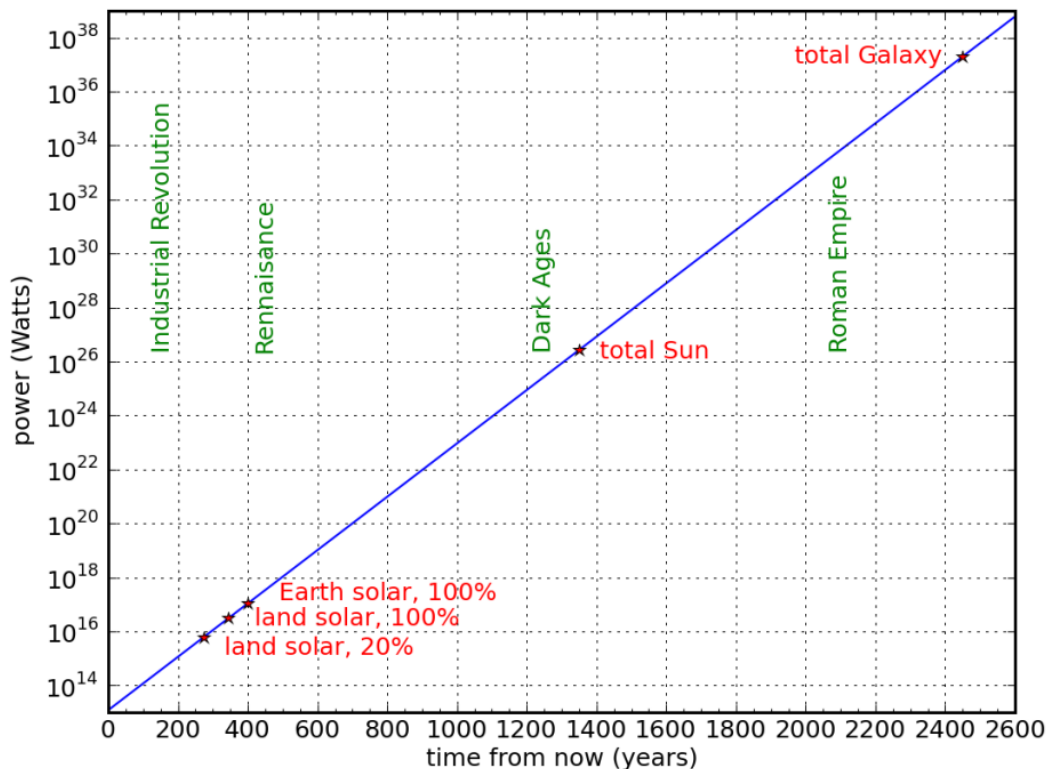
Ahora empecemos a relajar las limitaciones. Seguro que en 275 años seremos lo suficientemente ingeniosos como para superar ese 20% de eficiencia para un recurso global tan importante. Riámonos en la cara de los límites termodinámicos y hablemos del 100% de eficiencia (sí, hemos empezado la parte fantástica de este viaje). Esto nos da un factor cinco, o 70 años. Pero, ¿quién quiere los océanos? Cubrámoslos también con nuestros paneles 100% eficientes. Otros 55 años. En 400 años topamos con

el muro solar en la superficie de la tierra. Esto es significativo, pues la biomasa, el viento y la generación hidroeléctrica vienen de la radiación solar, y los combustibles fósiles representan las baterías cargadas de la tierra por la energía solar durante millones de años. Sólo las energías nuclear, geotermal, y los procesos de mareas no proceden de la luz solar, estos dos últimos son inconsecuentes para este análisis, con unos pocos teravatios cada uno.

Pero la principal limitación del análisis anterior es la superficie de la Tierra, tan agradable como es. Sólo ganamos 16 años recogiendo el 30% de energía extra que rebota hacia fuera, por lo que el gran gasto que supondría situar una matriz de células fotovoltaicas circunvalando la tierra seguramente haga que no merezca la pena el esfuerzo. Pero, ¿por qué limitarnos a la tierra, una vez que estamos en el espacio? Pensemos en grande: rodeemos el sol con paneles solares. Y mientras tanto, hagámoslos 100% eficientes. No nos importa que una estructura de 4 milímetros de grosor rodeando el sol a la distancia de la órbita terrestre requiriese los materiales de una Tierra entera. Y materiales especiales para eso. Hacer esto nos permitiría continuar con el crecimiento energético anual del 2,3% durante 1.350 años desde ahora.

En este punto habrás notado que el sol no es la única estrella de la galaxia. La vía láctea alberga unos 100.000 millones de estrellas. Mucha energía acaba simplemente perdiéndose en el espacio, y está ahí para que la utilicemos. Recuérdese que cada factor 10 nos lleva 100 años más por este camino. 100.000 millones son 11 factores 10 ( $10^{11}$ ), por lo que tenemos 1.100 años adicionales. Por tanto, en unos 2.500 años desde ahora, estaríamos utilizando la energía de toda la galaxia. Sabemos con cierto detalle lo que los humanos hacían hace 2.500 años. Creo que podría decir,

por tanto, lo que NO vamos a estar haciendo dentro de 2.500 años.



**Figura 2: Demanda global de potencia bajo un crecimiento sostenido del 2,3% en escala logarítmica. En 275, 345, y 400 años, demandaremos toda la superficie de la tierra que recibe luz solar, y después la superficie terrestre entera, asumiendo eficiencias de conversión del 20%, 100% y 100%, respectivamente. En 1350 años, usaremos tanta potencia como genera el sol. En 2.450 años, usaremos tanta como los 100.000 millones de estrellas de la Vía Láctea. Las notas verticales indican la perspectiva histórica sobre lo lejos que están estos puntos de referencia en el contexto de nuestra civilización.**

### ¿Por qué elegir solar?

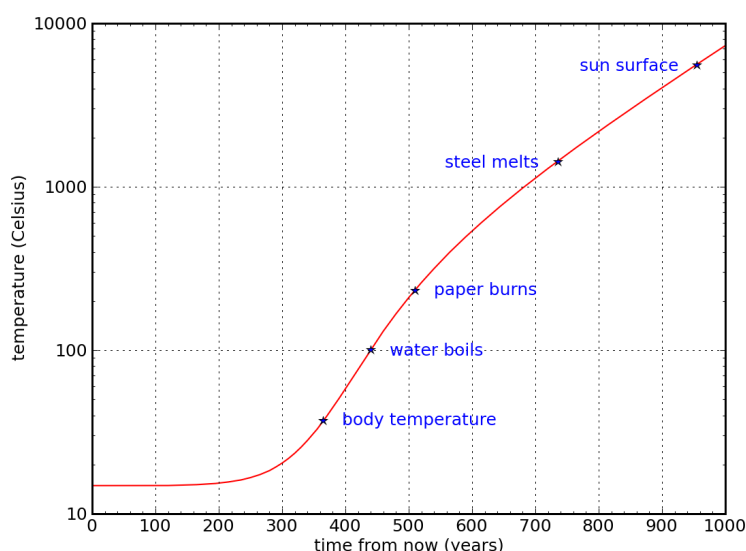
Algunos lectores podrían estar molestos por el enfoque anterior en la energía solar/estelar. Si soñamos a lo grande, olvidémonos de las cobardes limitaciones de la energía solar y adoptemos la fusión. La abundancia de deuterio en el agua ordinaria podría permitirnos tener una fuente de energía aparentemente inagotable aquí en la Tierra. No entraremos en análisis detallados de esta vía, por que no hace falta. El despiadado crecimiento anteriormente mostrado significa que en 1.400 años desde ahora, *cualquier* fuente de energía que queramos aprovechar tendría que eclipsar al sol.

Permítame volver sobre este punto importante. *No importa qué tecnología*, un crecimiento sostenido de la energía del 2,3% requiere producir tanta energía como todo el sol en 1.400 años. Una advertencia: Esa planta de energía podría calentarse un poco. La termodinámica requiere que si generamos una cantidad de energía comparable a la del Sol en la Tierra, la

superficie de la Tierra, siendo más pequeña que la del Sol, debería estar *más caliente* que la superficie del sol!

### Límites termodinámicos

Podemos explorar con más detalle los límites termodinámicos del problema. La Tierra absorbe mucha energía del sol, muy por encima de nuestra actual empresa social. La Tierra se deshace de su energía radiándola al espacio, en su mayoría a longitudes de onda de infrarrojo. No hay otras vías para la disipación de calor. De hecho, la absorción y la emisión están en torno a un balance perfecto. Si no lo están, la tierra se calentaría o enfriaría lentamente. En realidad hemos disminuido la habilidad de la radiación infrarroja para escaparse, provocando el calentamiento global. Aún así, todavía estamos dentro del balance en menos del 1%. Como la potencia radiada varía con la cuarta potencia de la temperatura (expresada en términos absolutos, como Kelvin), podemos computar la temperatura de equilibrio de la superficie de la Tierra, dando una carga adicional a la empresa social.



**Figura 3: Temperatura de la superficie de la tierra teniendo en cuenta un crecimiento energético estacionario del 2,3%, asumiendo que empleamos otra fuente de energía diferente a la solar para nuestras necesidades energéticas, y que su utilización transpira en la superficie del planeta. Incluso una fuente de ensueño como la fusión provocaría unas condiciones insoportables en unos cientos de años si el crecimiento continúa. Nótese que la escala vertical es logarítmica.**

Los resultados se muestran arriba. Desde antes, sabemos que si nos limitamos a la superficie de la tierra, agotamos el potencial solar en 400 años. Para continuar con el crecimiento energético a partir de ese momento necesitaríamos abandonar las energías renovables -virtualmente todas derivan del sol- en detrimento de la energía nuclear de fisión/fusión. Pero el análisis termodinámico dice que estaríamos tostados de cualquier manera.

**iParen esta locura!**

El propósito de esta exploración es apuntar al absurdo que resulta de asumir que podemos continuar creciendo en nuestro uso de energía, incluso si lo hacemos más modestamente de lo que lo hemos estado haciendo los últimos 350 años. Este análisis es un foco de críticas fácil, dado lo restrictivo de esta premisa. Me encantaría desmontarlo yo mismo. Principalmente, un crecimiento continuo de la energía sería innecesario si la población humana se estabiliza. Por lo menos el 2,9% de la tasa de crecimiento energético que hemos experimentado debería reducirse si la Tierra se satura de gente. Pero no pasemos por alto el punto principal: El crecimiento continuado del uso de energía es físicamente imposible en una escala de tiempo concebible. El anterior análisis ofrece una manera bonita de demostrar este punto. Me parece un argumento convincente que lleva a la gente a apreciar los serios límites de este crecimiento indefinido.

Una vez hemos apreciado que el crecimiento físico debe cesar (o invertirse), podemos llegar a darnos cuenta de que todo el crecimiento económico debe terminar de igual manera. Este último punto puede ser difícil de tragar, dada nuestra habilidad para innovar, mejorar la eficiencia, etc. Pero este tema se tratará en otro post [aquí](#).

### **Agradecimientos**

Gracias a Kim Griest por los comentarios y por plantar la idea de que en 2.500 años, utilizaremos la Vía Láctea. Gracias a Brian Pierini por los comentarios útiles.

**Fuente:** <http://www.energybulletin.net/stories/2011-07-18/galactic-scale-energy>