



www.astrosociety.org/uitc

No. 33 - Winter 1996

© 1996, Astronomical Society of the Pacific, 390 Ashton Avenue, San Francisco, CA 94112.

¿Y Si la Luna No Existiera?

por Neil F. Comins, University of Maine

¿Cuántas veces durante el día escolar usted oye preguntas como ---¿Bueno, y si...?--- Juzgando por mi hijo mayor, el hacer tales preguntas es una herramienta común y poderosa que los niños usan para explorar la naturaleza y la vida. Los adultos también juegan el juego de "¿y si...?" La única diferencia es que los adultos lo hacemos inconcientemente, cientos de veces al día. "¿Y si hoy no voy de compras?" "¿Y si acepto ese nuevo trabajo?" "¿Y si dejo que Tom se lleve el coche hoy en la noche?" Tales preguntas nos permiten evaluar nuestras opciones. Debido a que raramente estamos concientes de que preguntamos "¿y si ...?", no hacemos uso completo de nuestras conclusiones como lo haríamos si nos adentráramos activamente en nuestros pensamientos.

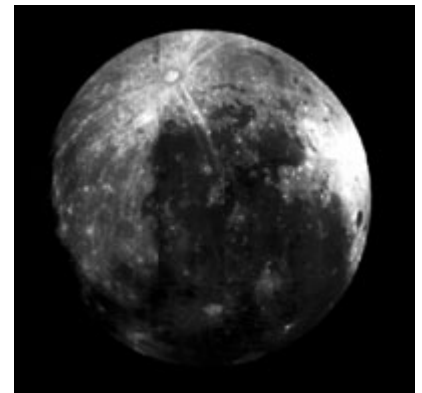
En 1990, un colega, David Batuski, vino a mi oficina y comentó que nosotros, educadores en ciencias, siempre estamos observando al mundo desde las mismas perspectivas anticuadas. Le sugerí que tratáramos de ver al mundo de manera diferente. Un silencio estremecedor duró varios minutos. Después de todo, se lleva tiempo el hacer un inventario de todas las maneras comunes de pensamiento; el tratar de encontrar puntos de vista alternativos es realmente un reto. Y en eso, inesperadamente, las preguntas "¿y si...?" de mi hijo penetraron en mi conciencia. Fue una revelación.

---Bueno,---dije ---¿y si la Luna no existiera? ¿Cómo sería la Tierra?---Solo tuvimos unos minutos para discutirlo antes de que entrara un estudiante, pero fue suficiente. Me enfrasqué en el tema. El hacer tales preguntas y usar razonamientos científicos con bases sólidas para contestarlas nos lleva a increíbles perspicacias acerca del mundo natural. Entre 1991 y 1993 escribí una serie de artículos para la revista *Astronomy* que exploraban algunos cambios diferentes en el ambiente astronómico de la Tierra y los resultados probables de esos cambios. Estos artículos condujeron a la publicación de mi libro "¿Y Si la Luna No Existiera? Viajes a Tierras que Podrían Haber Sido" (*What If the Moon Didn't Exist? Voyages to Earths That Might Have Been*, Nueva York: HarperCollins, 1993).

¿Cómo pueden convertirse las preguntas "¿y si...?" en un catalizador para descubrimientos científicos en la clase? A continuación presento el ejemplo de una idea, algunas respuestas típicas de los estudiantes y un análisis científico.

Solos En Casa
Con el Vaivén de la Marea
Olas de Marea
Peores Oleajes para el Deporte de Surfing

Solos En Casa



Iluminación terrestre. Hace dos años, la sonda espacial Clementine tomó esta fotografía de la Luna iluminada no por luz solar directa, sino por luz solar reflejada por la Tierra. El cráter brillante cerca de la parte superior es Tycho. Cortesía del Naval Research Laboratory.

En cada idea "¿y si...?" introduzco un cambio en el ambiente de la Tierra y luego considero las implicaciones de este cambio. En este ejemplo, formo un mundo idéntico a la Tierra---excepto que nunca adquirió una luna. A este mundo le llamo Solon para enfatizar su existencia solitaria. Para entender como *Solon* diferiría de la Tierra, necesitamos saber como la Luna está afectando a la Tierra actualmente y, marchando atrás en el tiempo, deducir sus efectos a través de la existencia de la Tierra. El efecto más obvio que causa la Luna en la Tierra es que produce las mareas (ver figura 1). Las mareas no solamente alzan barcos y descubren almejares; también han causado cambios profundos en nuestro mundo.



Figura 1

Observando el vaivén de las mareas. Estas fotografías muestran mareas altas (arriba) y bajas (abajo) en Bar Harbor, Maine. Las mareas son una de las maneras más importantes en que la Luna afecta la vida en la Tierra. Resultan del hecho de que la atracción gravitacional de la Luna no afecta todas las partes de la Tierra de igual manera: la gravedad lunar ejerce una fuerza mayor en las partes de la Tierra más cerca de la Luna. Esto tira de los océanos muy ligeramente hacia la Luna. El efecto es diminuto---levanta la superficie del océano menos de 1 metro---pero suficiente para crear una ola que viaja alrededor del globo conforme rota la Tierra. Cuando esta ola penetra en las aguas poco profundas de la costa, aumenta de tamaño. Cortesía de estas fotografías de John Neff, Universidad de Iowa.

Las mareas suceden porque la fuerza de gravedad entre dos cuerpos disminuye con la distancia. La gravitación es la fuerza universal de atracción entre toda la materia. Mantiene unidos los cuerpos celestes y atrae diferentes astros los unos hacia los otros. Debido a que la gravedad tira con más fuerza de los objetos cercanos que de los lejanos, los océanos más cerca de la Luna sienten la mayor atracción hacia ella. Por ser fluidos, éstos océanos más cercanos a la Luna se mueven hacia arriba como respuesta a su atracción, hasta que se establece un equilibrio entre la fuerza hacia arriba de la Luna y la fuerza hacia abajo de la Tierra. La marea alta en el lado lejano de la Tierra ocurre porque estos océanos más distantes sienten la menor atracción hacia la Luna. En esencia, se quedan atrás conforme la Luna atrae hacia ella con mayor fuerza las otras partes de la Tierra.

En 1897, George Darwin, hijo de Charles, sugirió que las mareas están causando que la Luna se esté alejando de nosotros en espiral. Su hipótesis se confirmó en 1969 después de que los astronautas del *Apolo 12* instalaron reflectores angulares (como los rojos y anaranjados de los coches) en la Luna. Al disparar rayos láser de la Tierra a la Luna, reflejarlos y verlos de regreso, los astrónomos midieron el tiempo del viaje redondo y por consiguiente, la distancia a la Luna. Al repetir el experimento en un lapso de varios años, confirmaron la predicción de Darwin. La Luna está retrocediendo 2 pulgadas (5 cm) por año.

Para entender porqué la Luna está huyendo de nosotros, imagínese por un momento que ni la Tierra ni la Luna rotaran y que el efecto de las mareas producidas por el Sol pudieran ignorarse. En este caso, una de las dos mareas altas del océano estaría directamente entre la Tierra y la Luna, mientras que la otra estaría en el lado de la Tierra opuesto a la Luna (ver figura 2a).

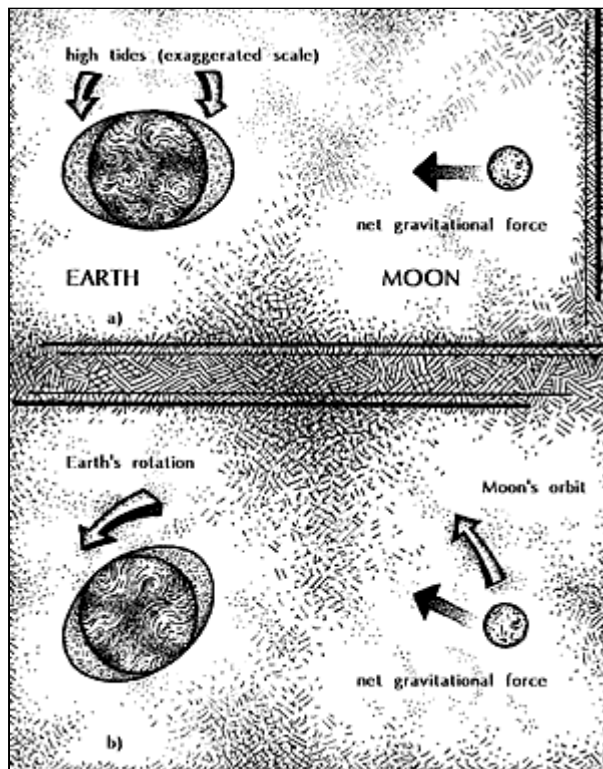


Figura 2

Vista de las mareas por un astronauta. Esta es una vista muy exagerada de las mareas como usted las vería si pudiera volar lo suficientemente alto sobre la Tierra y la Luna. Esta atracción gravitacional desequilibrada de la Luna causa que los océanos sean ligeramente no esféricos, creando dos mareas altas y dos bajas. Por supuesto, las mareas reales son mucho menores que lo mostrado en estos dos diagramas. Suponga por un momento que la Tierra no rotara (a). En este caso, las dos mareas altas se encontrarían en la línea recta que va del centro de la Luna al centro de la Tierra. La fuerza de gravedad apuntaría directamente del centro de la Luna al centro de la Tierra.

Ahora vea lo que pasa en la Tierra que rota (b). Debido a que la Tierra rota más rápido (una vez cada 24 horas) que la translación de la Luna (una vez cada 29 días), las mareas altas no están alineadas como en el diagrama superior. En cambio, la rotación hala las mareas en derredor, de manera que la marea más cercana a la Luna deja atrás a la Luna. Esta marea alta más cercana ejerce una fuerza de gravedad en la Luna, provocando que ésta se aleje en espiral. En respuesta, la Luna ejerce una fuerza de gravedad en la marea alta, provocando que la Tierra rote más despacio. Diagrama de Katherine L. Blakeslee.

Ahora agregue la rotación de la Tierra. La Tierra rota en la misma dirección de la translación de la Luna, pero la Tierra rota mucho más rápido (una vez al día) de lo que la Luna le da la vuelta a la Tierra (cada 29 días). La rotación rápida causa que la marea alta sea atraída ligeramente delante de la Luna (ver figura 2b). Esta marea le da a la Tierra una palanca para poner en marcha la órbita de la Luna. La marea alta arrastra a la Luna delante de su órbita, causando que ésta se acelere y por lo tanto, que se aleje en espiral.



¿Y Si la Luna No Existiera?

Con el Vaivén de la Marea

Existe una palabra para las cosas que se mueven más lejos de la Tierra: arriba. La Luna está constantemente moviéndose más y más arriba. Cualquier gente que sube escaleras muy altas sabe que hay que gastar energía para subir. Si la Luna está subiendo, ¿de dónde viene esa energía? Solamente hay un lugar de donde puede venir: de la rotación de la Tierra. Este es un juego de sumar ceros que los físicos llaman conservación de momento angular: el momento angular total del sistema Tierra-Luna, que está relacionado con la energía acumulada tanto en la rotación como en la translación, debe permanecer constante. Como la Luna está ganando momento angular al alejarse en espiral, la Tierra debe perder la misma cantidad de momento angular.

La Tierra pierde momento angular porque la marea alta más cercana a la Luna está tratando de regresar directamente debajo de ella, mientras que la marea alta más lejana está tratando de alejarse lo más posible. Por consiguiente, las mareas altas fluyen hacia el oeste, y al hacer esto se encuentran con continentes e islas. El agua empuja contra estas masas de tierra, las cuales, debido a la rotación, se están moviendo hacia el este. El resultado neto es que la rotación hacia el este se retrasa debido al movimiento hacia el oeste de las mareas, retardando la rotación. El día se está alargando aproximadamente 0.002 segundos por siglo. Esto no parece mucho, pero a lo largo de miles de millones de años, su suma es significativa.

Si la Tierra está rotando más despacio, debió haberlo hecho más rápido en el pasado. Al contar los anillos de crecimiento en fósiles de coral que tienen 400 millones de años y en estromatolitos que tienen 3 mil millones de años, los geólogos calculan que la Tierra estaba rotando cuatro veces más rápido cuando se formó de lo que rota hoy en día. Los efectos de marea de la Luna, y en mucho menor grado los del Sol, han alargado el día de seis a 24 horas.

También podemos marchar tiempo atrás con la Luna. Como la Luna se está alejando, alguna vez debió haber estado más cerca. Lo más cerca que la Luna pudo haber estado es aproximadamente 7,300 millas (11,750 km) sobre la superficie de la Tierra, 1/20 de la distancia actual---si hubiera estado más cerca, las mareas creadas por la Tierra en la Luna la hubieran hecho pedazos, convirtiéndola en un anillo. Este límite en la distancia a la Luna es consistente con la teoría de cómo se formó nuestro satélite.

La Luna no se formó con la Tierra. La química de las rocas en la Luna y otra evidencia indican que la Luna fue una vez parte de la Tierra. Cuando un asteroide enorme golpeó la Tierra a principios de la historia de nuestro planeta, un volumen enorme de rocas literalmente fue salpicado y puesto en órbita. La Tierra joven había sido un mundo abrasador y vaporoso de volcanes y ríos que exudaban roca fundida, con una atmósfera irrespirable de bióxido de carbono y virtualmente sin agua superficial---en pocas palabras, un mundo inhóspito y sin vida. El impacto hizo añicos la tenue corteza terrestre, mandando gas y vapor de agua extremadamente calientes al espacio interplanetario. Al mismo tiempo, grandes cantidades de manto y corteza terrestre (las capas más externas) se pusieron en órbita alrededor de nuestro planeta. Este material rápidamente se fusionó para formar la Luna. Este impacto ha sido reproducido con éxito en simulaciones de computadoras.

Olas de Marea

Supongamos que la Luna se formó 10 veces más cerca de la distancia actual. En este caso, las mareas en la Tierra joven eran 1,000 veces más altas de lo que son ahora, puesto que las fuerzas de marea varían inversamente con el cubo de la distancia. Las mareas enormes se precipitaban millas tierra adentro y retrocedían cada tres horas (recuerde que el día duraba solamente seis horas). Conforme se movían sobre la

tierra, los volúmenes imponentes de agua raspaban y golpeaban la roca primitiva, removiendo y pulverizando una cantidad considerable de la misma. Cada vez que la marea retrocedía, arrastraba consigo este material al océano. Agitados continuamente en el agua, estos productos químicos formaron el caldo en el que probablemente se formó la vida.

Con estos antecedentes, estamos listos para considerar cómo sería Solon, una Tierra sin Luna.

La duración del día En Solon, las únicas mareas serían las producidas por el Sol. El Sol contribuye con un tercio de las mareas de hoy en día. Por lo tanto, Solon aún experimentaría algunas mareas y su rotación aún seguiría retrasándose, pero no tanto como la de la Tierra. El día en Solon duraría solamente ocho horas en el tiempo presente de su vida, 4,600 millones de años después de haberse formado.

Vientos

Mientras más rápido rota un planeta, más rápido soplan sus vientos. Vemos los efectos de una rotación extrema en Júpiter, que rota cada 10 horas. Ahí, los vientos son halados y forman patrones que fluyen en la dirección este-oeste, con mucho menor movimiento en la dirección norte-sur de lo que ocurre actualmente en la Tierra (ver figura 3). Además, las velocidades de los vientos en Júpiter son normalmente entre 100 y 200 millas por hora (160 y 320 km por hora). Esto nos indica que los vientos en Solon fluirían más del este al oeste de lo que lo hacen en la Tierra y que sus velocidades serían mucho más altas. Vientos de 160 km por hora soplarían diariamente, y los huracanes tendrían vientos con velocidades aún superiores.



Figura 3

Júpiter visto por el *Telescopio Espacial Hubble*. El círculo oscuro en la parte superior izquierda del disco jovial es la sombra de la luna jovial más interior, Io, vista a la derecha del círculo. Conforme Júpiter gira una vez cada 10 horas, arrastra consigo su atmósfera exterior---creando vientos fuertes que soplan del este al oeste alrededor del planeta. Estos vientos están claramente indicados por las bandas claras y oscuras que ciñen al gigante de gas. Los vientos tienen solamente un movimiento limitado en la dirección norte-sur. Cortesía de esta fotografía de Harold A. Weaver y T.E. Smith, Space Telescope Science Institute (Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial); John T. Trauger y R.W. Evans, Jet Propulsion Laboratory; y la NASA.

Orígenes de la vida

Las mareas lunares altas llenaron los océanos primitivos de la Tierra con los productos químicos necesarios para que la vida evolucionara bajo la influencia de la radiación del Sol. Mientras que Solon recibiría la misma radiación, sus océanos se llenarían a paso de tortuga con los productos químicos que son los bloques de construcción de la vida. Las mareas insignificantes en el joven Solon contribuirían muy poco al enriquecimiento de los océanos. La manera principal en que los productos químicos entrarían al océano sería con el fluir de los ríos. Esto mismo lo vemos suceder actualmente en las desembocaduras de los ríos, pero la proporción es excesivamente lenta comparada con los efectos de las monstruosas mareas. Por lo tanto, hubiera tardado más tiempo el llenar los océanos con una masa crítica de productos químicos. Como resultado, probablemente la vida hubiera tomado mucho más tiempo en desarrollarse.

Evolución biológica

Tanto los vientos más rápidos como los días más cortos en Solon habrían causado efectos mayores en la evolución. Los vientos hubieran mediado contra formas de vida altas que no son estabilizadas por su propio peso, por sus cuerpos anchos o por sus raíces profundas. Las palmeras son un buen ejemplo de una forma de vida improbable en Solon: estos árboles tienen un sistema de raíces poco profundas y los vientos fuertes las tiran fácilmente.

Las formas de vida que habitan en los árboles pasarían muchos apuros en Solon, puesto que ahí los árboles altos se mecerían mucho más de lo que lo hacen en la Tierra. Esto no quiere decir necesariamente que no habría criaturas semejantes a los monos. Mejor dicho, esto quiere decir que esas criaturas tendrían que responder aún más a su ambiente que las criaturas arbóreas en la Tierra. Esto en realidad podría producir cerebros aún más complejos en los habitantes de los árboles en Solon y, tal vez, diferentes capacidades mentales.

Trate de imaginarse lo que sería la vida día tras día con solamente tres o cuatro horas diarias de luz del Sol. En primer lugar, las formas de vida desarrollarían relojes biológicos con ciclos diferentes de los de la Tierra. Muchas actividades de las formas de vida terrestre están reguladas por relojes biológicos internos: el despertar, el dormir, el hambre y el apareamiento dependen de los ritmos circadianos. Algunos estudios han demostrado que los relojes biológicos en la mayoría de las criaturas no tienen un ciclo de exactamente 24 horas. Por ejemplo, el ritmo circadiano humano dominante tiene un ciclo de 25 horas. Afortunadamente, la salida del sol vuelve a poner a tiempo los relojes que no duran precisamente 24 horas. Pero esto solo puede suceder si un reloj biológico está dentro de los límites de tres horas más o tres menos del ciclo del día y la noche. En Solon, con su día de ocho horas, los animales poseedores de relojes biológicos similares a los de la Tierra estarían rápidamente fuera de sincronización. Estarían durmiendo cuando deberían estar despiertos, cazando cuando deberían estar apareando, y así por el estilo. Se volverían vulnerables al ataque de animales de rapiña mejor adaptados.



¿Y Si la Luna No Existiera?

Peores Oleajes para el Deporte de Surfing

Hay muchas otras diferencias entre la Tierra y Solon que sus estudiantes pueden descubrir, y hay otras innumerables alternativas de la Tierra, algunas de las cuales se mencionan en mi libro. Ahora permítanme recurrir a una manera en que yo he usado muy efectivamente las preguntas "¿y si...?" empezando desde el 4o. grado hasta la universidad.

Normalmente empiezo preguntándole a la clase lo que creen sería diferente si la Luna no existiera, o si el Sol estuviera más cerca de la Tierra, o si una estrella explotara cerca de nosotros. Aquí hay algunas respuestas comunes a la pregunta "¿Y si la Luna no existiera?"

- No habría mareas (no es cierto)
- No habría zonas de intermarea (no es cierto)
- No habría eclipses
- Habría cielos más oscuros para los astrónomos
- Algunos animales se verían afectados (como el salmón y las tortugas)
- Existirían diferentes criaturas nocturnas
- No habría gravedad (no es cierto)
- Habría más impactos de residuos espaciales en la Tierra
- No habría calendario lunar
- No habría fases de la Luna
- Habría peores oleajes para el deporte de surfing
- Habría noches más oscuras
- A los "lunáticos" se les llamaría diferente
- No habría fábulas lunares (hombres lobo y esas cosas)
- No habría un lugar cercano a donde pudieran ir los astronautas
- Se perdería un instrumento de romance
- Se perdería un tema para canciones de amor
- El hombre no habría estado en la Luna

Después de repasar estas ideas y de corregir las equivocadas, como la desaparición de las mareas, presento los resultados astronómicos más importantes: (1) El día duraría ocho horas, (2) los vientos serían mucho más fuertes, (3) la vida compleja tal vez aún no existiría y (4) cuando la vida apareciera, su biología sería diferente.

Al darse cuenta de estos resultados, los estudiantes empiezan a reconsiderar sus ideas para darle sentido a esta nueva información. A veces esto les resulta desconcertante, pero tienen muchas ganas de entender como estas ideas pueden estar correctas. Después sigo adelante estudiando las propiedades de Solon descritas anteriormente.

Me encantó el saber que muchos maestros de secundaria y preparatoria en los Estados Unidos están usando el libro "¿Y Si la Luna No Existiera?" (*What If the Moon Didn't Exist?*) para ayudar a enseñar sobre la Tierra y el espacio. Tales proyectos generalmente se hacen en grupos de tres o cuatro. Es útil el hacer preguntas específicas sobre la Tierra alternativa a los estudiantes. Por ejemplo: "¿Cómo diferiría la temperatura si el Sol fuera más masivo?" "¿Qué les pasaría a los humanos si la capa de ozono disminuyera un 25 por ciento?" John Hilker en Union, Maine, hace que sus estudiantes exploren tales preguntas de "¿y si...?"; ponen las ideas que

elaboran en la computadora y las graban en video cassetes. Hilker nos ha ofrecido dar respuesta a sus preguntas sobre este trabajo. Usted puede comunicarse con él (en inglés) a: A.D. Gray Middle School, P.O. Box 329, Waldoboro, Maine 04572, EE.UU.

En mi curso universitario de introducción a la astronomía, yo solicito a los estudiantes que escriban un artículo corto (2,000 palabras) describiendo una de las siguientes tres cosas: explicar con más detalle (o hasta tratar de refutar) la ciencia en uno de los capítulos de mi libro, extrapolar una idea hacia un punto de vista que yo no tomé o formular una nueva pregunta "¿y si...?" y explorar algunas de sus implicaciones.

Al usar preguntas "¿y si...?" en la clase, vale la pena tener en cuenta que los estudiantes que extrapolan los efectos de ideas nuevas encontrarán dos situaciones diferentes: cambios directos de la nueva versión de la Tierra y cambios indirectos que resultan de los cambios directos. Los cambios directos resultan de la variación astronómica, como la rotación más rápida de Solon y mareas más bajas. Los cambios indirectos son más desafiantes, como los vientos más fuertes, un paso más lento de evolución, relojes biológicos más rápidos y la necesidad de soporte robusto contra los vientos fuertes. Muchos cambios secundarios causan a su vez otros cambios; tal jerarquía puede ser explorada con mapas de conceptos o con diagramas de flujo.

Para inferir ideas sobre cambios indirectos, yo hago preguntas sobre los efectos de los cambios directos en cosas específicas que existen ahora. Por ejemplo: "¿Qué efecto tendrían los vientos constantes y fuertes en las comunicaciones orales en Solon?" Bueno, sabemos por experiencia que los vientos fuertes dificultan el hablar y el escuchar. Por lo tanto, a lo mejor el habla no se hubiera desarrollado en Solon. Tal vez un órgano que cambiara colores o se moviera como una bandera de semáforo llegaría a ser el método de comunicación preferido para las formas de vida avanzadas, o ¿quién sabe?

Al hacer que los estudiantes se den cuenta del poder de la pregunta "¿y si...?", les damos otra herramienta intelectual para ayudarles a enfrentar un mundo cada vez más complejo.

NEIL F. COMINS es profesor de física y astronomía en la Universidad de Maine en Orono. Es autor de "¿Y Si la Luna No Existiera? Viajes a Tierras que Podrían Haber Sido" (*What If the Moon Didn't Exist? Voyages to Earths That Might Have Been*) y de "Descubriendo el Universo" (*Discovering the Universe*, cuarta edición, con W.J. Kaufmann III). Su dirección electrónica es galaxy@maine.maine.edu.

(c) 1996 Neil F. Comins. Todos los derechos reservados. Para mayor información sobre el Dr. Comins y su trabajo, favor de dirigirse a: Maria Carvainis Agency, 235 West End Ave., New York, N.Y. 10023, EE.UU., teléfono 212-580-1559.

Traducido por Ana V. Torres Dodgen