

Rayos y tormentas

Joseba Areitio Piedra

1. Introducción

Las tormentas son uno de los fenómenos meteorológicos más espectaculares y que con mayor frecuencia podemos contemplar. En ellas se produce una gran liberación de energía que se manifiesta en forma de fuertes precipitaciones, intensas rachas de viento y abundante aparato eléctrico.

Desde la antigüedad el hombre mostró su interés, temor o admiración por este fenómeno y así encontramos desde la antigüedad la existencia de muchos mitos relacionados con las tormentas.

Zeus, padre de todos los dioses griegos, y Júpiter, dios de los romanos, eran quienes lanzaban los rayos desde el cielo. Thor, dios nórdico, forjaba los rayos a golpe de martillo sobre su yunque mientras se desplazaba en su carro entre las nubes. Los meteoritos, son las piezas rotas del martillo de Thor y en Escandinavia se denominan piedras de tormenta.

En la mitología vasca Ortz, el dios del cielo, es también el dios de las tormentas y Aidegaxto es el genio que lanza los rayos. La denominación vasca más generalizada para el rayo es tximistarri, encontrándose también la forma ozkarri (piedra del cielo). El vocablo arri, en castellano piedra, nos indica que en la mitología vasca, al igual que en la indoeuropea, al rayo se le atribuye un origen pétreo.

De la interpretación mítica del rayo, se pasó a la búsqueda de las causas y la explicación del fenómeno.

Ya los etruscos pensaban que el choque entre las nubes producía el rayo. Los Clásicos (Séneca, Heráclito, Anaxágoras y Aristóteles) establecían la naturaleza ígnea del rayo, sustentándose principalmente en las interacciones que se producían entre los elementos fuego, tierra y agua.

No fue hasta el año 1752 en el que Benjamín Franklin estableció de una forma científica la naturaleza eléctrica del rayo. Franklin determinó experimentalmente que las cargas situadas en la parte inferior de las nubes eran de signo negativo. Llegado a este punto el propio Benjamín Franklin diseñó el primer sistema de protección frente a los rayos, el pararrayos. Este sistema conducía a tierra los rayos que caían sobre las construcciones, que de esta forma se veían a salvo de los mismos.

Pero, ¿qué es realmente una tormenta, y cómo se originan los rayos?. Intentaremos desde estas líneas dar respuesta, de forma somera, a estos interrogantes.

2. La célula tormentosa

La presencia de un rayo va casi siempre unida a la existencia de una nube aunque existen otros fenómenos en la naturaleza como las tormentas de arena, ventiscas,

erupciones volcánicas y terremotos que pueden dar lugar a rayos. Sólo nos ocuparemos de los rayos producidos por las nubes tormentosas.

Las tormentas son por definición aquellas nubes que dan lugar a descargas eléctricas. Si no se producen rayos o relámpagos en una nube no podemos denominarla de tal forma.

No todas las nubes dan lugar a descargas eléctricas, ni todas las nubes que dan lugar a descargas eléctricas tienen las mismas características. Sin embargo para explicar como se forma una tormenta podemos idealizar un modelo general de nube que de lugar a descargas eléctricas y que llamaremos célula tormentosa.

El proceso de formación de una célula tormentosa consta de tres fases principales:

- Fase de desarrollo

El aire cálido y húmedo de las capas inferiores de la atmósfera asciende y como consecuencia de este ascenso se enfría y condensa dando lugar a la formación de una nube llamada cúmulo. El ascenso del aire puede originarse debido a un forzamiento orográfico o bien por condiciones de inestabilidad en la atmósfera. Esto es, el aire ascendente, se encuentra con capas de la atmósfera cuya densidad es mayor, es decir el aire es mas frío.

Si el proceso de alimentación de las corrientes ascendentes continua, la nube sigue su crecimiento y comienza la formación de cristales de hielo al alcanzar el nivel cuya temperatura es de 0 °C. En esta fase, la nube puede crecer hasta alcanzar la tropopausa a más de 10 km de altura. En este estado, la nube recibe el nombre de cumulonimbo, se producen las primeras precipitaciones y aparecen las primeras descargas eléctricas entre distintas zonas de la nube (relámpagos)

- Fase de madurez

En esta fase el cumulonimbo llega a su máximo desarrollo. Su cima se expande horizontalmente en forma de yunque al llegar a la tropopausa. Se producen precipitaciones de lluvia, nieve o granizo acompañadas de fuertes corrientes descendentes que progresivamente van destruyendo las corrientes ascendentes iniciales. En este estado se producen las primeras descargas eléctricas o rayos desde la nube hasta la tierra

- Fase de disipación

En la fase de disipación las corrientes descendentes interrumpen el proceso de alimentación del cumulonimbo y este tiende a desintegrarse al mismo tiempo que las precipitaciones, descargas eléctricas y ráfagas de viento disminuyen progresivamente.

El tiempo en que se desarrolla todo el proceso se sitúa en torno a las dos horas. El tamaño de una célula tormentosa de estas características se encuentra entre 1 y 10 km de diámetro.

Ahora bien, ¿cómo y por qué se electrifica una célula tormentosa?

3. Mecanismos de generación y separación de carga

El proceso que da lugar a la electrificación de la nube no es otro que los choques o la fricción que se produce en el seno de la célula tormentosa cuando colisionan entre sí los cristales de hielo y el granizo en presencia de gotitas de agua subfundida (gotitas de agua que permanecen sin congelarse a menos de 0 °C).

Se ha demostrado que a temperaturas superiores a -15 °C (por debajo de los 5000 metros) las partículas de granizo que chocan con los cristales de hielo adquieren carga positiva (+) y estos últimos carga negativa (-). Por debajo de esta temperatura (alturas superiores a 5000 metros) ocurre el proceso inverso. De esta forma los cristales de hielo, más ligeros que el granizo, son arrastrados por las corrientes ascendentes de aire en el interior de la tormenta hacia la cima del cumulonimbo, formando una región de carga positiva entre 8 y 10 km de altura, mientras que a unos 5 km de altura, en torno a la isoterma de -15 °C, se acumula la carga negativa.

De esta forma las tormentas se asemejan a un gran pila, donde se genera una gran cantidad de carga y que, en su forma más simple, tiene dos zonas de acumulación de carga o polos bien diferenciados, el positivo en la cima de la nube y el negativo en la parte inferior. Este es el modelo llamado dipolo tormentoso.

Comúnmente se observa que en la misma base de la nube existe una pequeña región de carga positiva originada por la precipitación en forma de granizo, que a estos niveles se halla cargado positivamente. Este es el llamado modelo de tripolo tormentoso. En la realidad el número de regiones de carga dentro de una nube puede ser superior a tres y tener una estructura muy compleja.

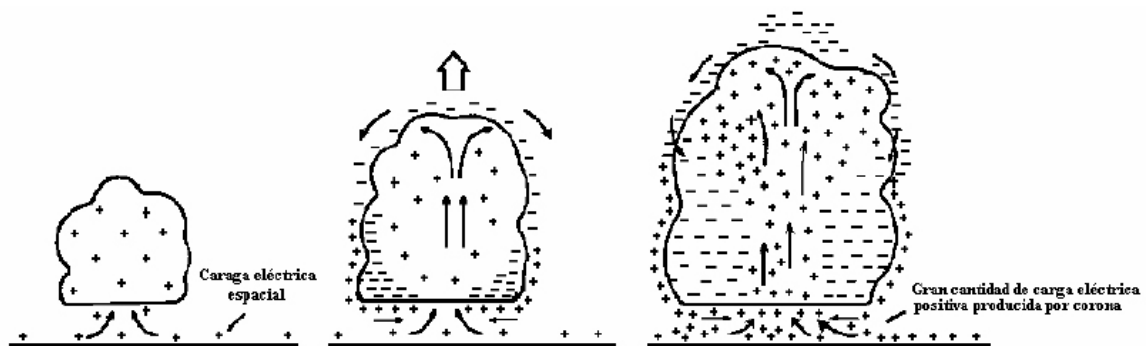


Figura1. Esquema de la distribución de carga en distintas fases de una tormenta.

Como consecuencia de este proceso de generación y separación de carga dentro de la nube, se inducen grandes diferencias de potencial eléctrico, tanto en el interior de la misma nube como entre la nube y la superficie de la tierra la cual, por inducción eléctrica, aparece cargada positivamente. En virtud de estas diferencias de potencial se originan en las tormentas los rayos y los relámpagos; pero, ¿cómo se producen exactamente estas descargas eléctricas?

4. El rayo

Comencemos por definir el rayo como la descarga eléctrica que se produce entre una nube y la superficie terrestre, para así diferenciarlo de otros tipos de descargas, como las

descargas nube a nube o nube a aire, llamadas relámpagos, o bien las descargas nube ionosfera, descubiertas recientemente que son llamadas espíritus y duendes.

- Génesis del rayo

En condiciones de buen tiempo, se observa que en la atmósfera libre el campo eléctrico es del orden de 125 voltios / metro. Esto es la diferencia de potencial que existe entre la superficie terrestre y una altitud de 1000 metros es de unos 125.000 voltios. Este campo eléctrico se debe a que la superficie terrestre esta cargada en su conjunto negativamente y la parte inferior de la ionosfera positivamente, a modo de un condensador esférico.

Cuando se aproxima una tormenta esta situación cambia notablemente. La tormenta cargada negativamente en su base induce una carga positiva sobre la superficie terrestre y el campo eléctrico aumenta de valor hasta valores del orden de 10.000 voltios/ metros.

Esto es, una diferencia de potencial entre el suelo y la nube del orden de 30 millones de voltios.

- Fase preparatoria

Una vez que en el seno de una nube tormentosa se produce la suficiente acumulación de carga eléctrica, el campo eléctrico dentro de la nube puede ser lo suficientemente intenso, del orden de 100.000 voltios /metros, como para que el aire, material dieléctrico que no conduce la electricidad, se convierta en conductor eléctrico.

En estas condiciones puede producirse, en un proceso no del todo conocido, una chispa. Partiendo de esta chispa, las cargas eléctricas de la nube aceleradas por el intenso campo eléctrico presente, van abriendo en el aire un estrecho canal que va progresando de forma escalonada apareciendo múltiples ramificaciones que progresan independientemente hacia abajo, definiendo así la forma del rayo. Este chorro iónico en progresión se denomina descarga líder o guía y es una especie de descarga débil o previa al rayo cuya intensidad se sitúa entre 100 y 1000 amperios.

- Fase principal

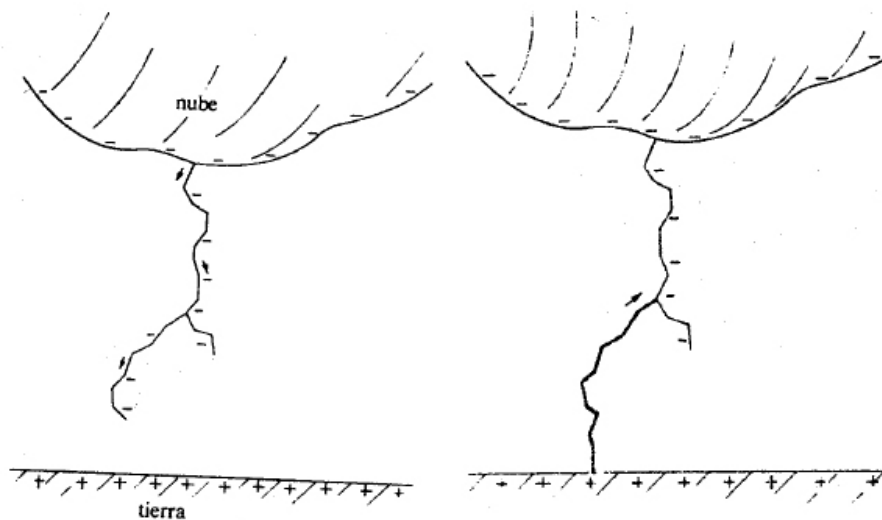
Transcurrido un tiempo de unos 20mseg, el extremo de la descarga líder se aproxima a unos 100 metros del suelo. Como consecuencia del intenso campo eléctrico que se establece entre el extremo del canal abierto por esta descarga guía y la superficie terrestre, desde las irregularidades del terreno u objetos puntiagudos comienza una descarga ascendente que acaba por conectar con la descarga guía. En ese momento la nube queda al mismo potencial que la tierra y se produce una intensa descarga denominada descarga de retorno, que se propaga de forma continua hacia la nube. La intensidad de la descarga es del orden de 30 kiloamperios y en este proceso se transfiriere a tierra la carga de la nube.

La temperatura del canal por el que se transfiere la carga, de apenas unos centímetros de diámetro, llega a alcanzar temperaturas de 30.000 °C. La brusca expansión del aire a esta temperatura genera una onda sonora, el trueno.

- Fase de replicas

Cuando la descarga de retorno cesa por completo y no se producen ya mas procesos de descarga, el rayo se denomina rayo de descarga única; Pero si existe mas carga disponible en la nube, después de la primera descarga de retorno y tras un breve periodo de tiempo, puede producirse una segunda descarga guía, llamada descarga dardo, que surge desde la nube y se traslada hasta llegar cerca del suelo. El movimiento de esta descarga dardo se realiza de forma continua y sin ramificaciones a una gran velocidad. Cuando el líder dardo está próximo al suelo se produce desde aquí una segunda descarga de retorno. Este proceso puede repetirse un número de veces superior a 15 y en un corto intervalo de tiempo, denominándose a este tipo de descarga como descarga múltiple, es decir cada rayo se compone realmente de varios rayos sucesivos.

La duración típica de todo el fenómeno expuesto, o sea del proceso de descarga de un rayo, es de 0,2 segundos, tiempo durante el cual se transfieren del orden de 30 culombios de carga y se libera una energía del orden de 10¹⁰ julios (el equivalente a una bombilla encendida durante un año). La energía liberada por un rayo no es en sí misma muy elevada, sin embargo al ocurrir en una fracción de segundo su potencia es considerable.



Guía escalonada y rayo de retorno.
Fuente: FEYNMAN, LEIGHTON, SANDS, "Física" Vol II, Addison- Wesley. Longman

Figura 2. Proceso de descarga del rayo

La diferencia de tiempo que transcurre entre el resplandor del rayo y el sonido o trueno que se escucha, nos da información de la distancia a que ha impactado el rayo, tan solo multiplicando el numero de segundos transcurridos por la velocidad del sonido, o sea 1 km cada tres segundos.

Ahora bien existen dos clases de: los rayos negativos, los más habituales, que llevan carga negativa a tierra y cuya génesis acabamos de describir, y los rayos positivos. Estos últimos se producen cuando la descarga entre nube y tierra lleva carga positiva. Son menos frecuentes alcanzando normalmente el 10% del total de las descargas, pero en general son mucho más intensos, con intensidades del orden de 200 kiloamperios y más dañinos.

Diariamente se producen en todo el planeta unas 44000 tormentas y un número de rayos estimado de 8.600.000, unos 100 por segundo, de lo que se deduce una densidad media anual de rayos para todo el planeta de 6 rayos / km².año

No obstante la distribución de tormentas sobre la superficie terrestre no es uniforme, así existe una variabilidad espacial que a su vez esta condicionada temporalmente bien por la variación diaria y estacional de la irradiación solar, o bien debido a fenómenos de orden climático, como las variaciones en la circulación oceánica (El Niño), que juegan un papel importante en la distribución de las tormentas.

En líneas generales se produce una mayor actividad tormentosa en las áreas continentales que en las oceánicas, y mayor en las zonas ecuatoriales que en las latitudes medias y polares.

En los océanos el número anual medio de tormentas varía entre 40-80 días anuales de tormenta que se producen en las corrientes cálidas y mares templados y valores inferiores a 10 en las latitudes medias, polares y tropicales. La baja temperatura superficial en el primer caso y la presencia de anticiclones tropicales en el segundo inhiben los procesos convectivos que dan lugar a la formación de tormentas.

En las áreas continentales la mayor actividad tormentosa se concentra en la franja ecuatorial, con un número medio de 100-200 tormentas anuales, mientras que la mínima actividad aparece sobre las zonas polares y los desiertos tropicales, con valores inferiores a 1 y 5 días de tormenta al año respectivamente. En las latitudes medias el número anual medio de tormentas esta comprendido entre 10 y 40, con un máximo de 80 en el sudeste de los Estados Unidos, sobre Florida.

El número de rayos que impacta cada año varía también de unas zonas geográficas y esta relacionado con el número de tormentas. África Ecuatorial es la zona con más impactos de rayo de todo el planeta, alcanzándose los 30 rayos por kilómetro cuadrado y año. En el sureste de los Estados Unidos se superan los 10 rayos por kilómetro cuadrado y año, mientras que en Europa se produce una media de entre 1 y 3 rayos por kilómetro cuadrado y año. En muchas regiones desérticas y polares no se registran rayos durante todo el año.

Dentro de la Península Ibérica, el País Vasco es una de las regiones con mayor número de descargas eléctricas al año y en particular es el área del Gran Bilbao, con más de 3 rayos por kilómetro cuadrado y año, el área que más impactos de rayo recibe. El aumento de la actividad eléctrica en las grandes ciudades es un hecho que se constata en otras zonas del mundo.

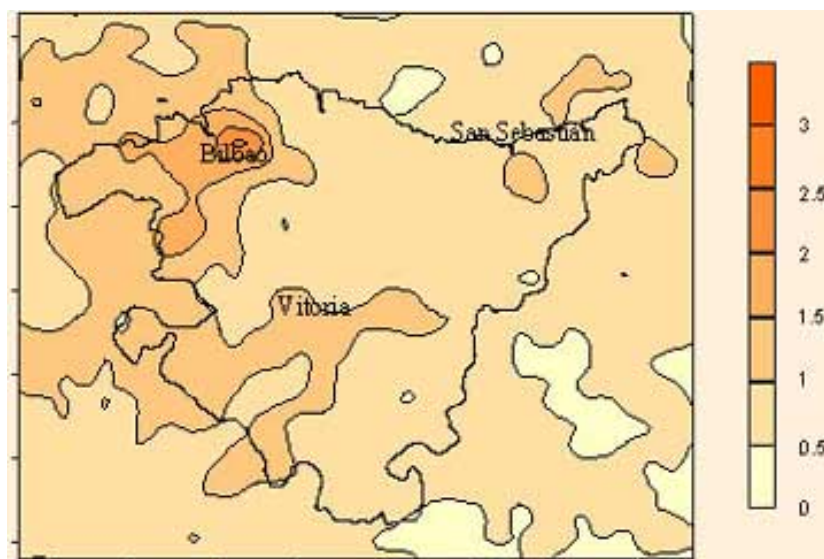


Figura 3. Número medio de impactos anuales de rayos en el País Vasco, por kilómetro cuadrado y año

5. Daños producidos por el rayo y medidas de protección

La energía y carga liberada por el rayo se produce en una fracción de segundo, con consecuencias en ocasiones altamente destructivas y que en las personas ocasiona daños importantes. Como norma general el 30% de los impactos por rayo resultan ser mortales y deja secuelas en el 75% de los supervivientes.

Anualmente se producen en España del orden de 0.6 fulminados por el rayo cada millón de habitantes. Este valor es dos veces superior al registrado en los Estados Unidos, donde de entre los fallecimientos debidos a fenómenos meteorológicos, los causados por el rayo (27%) superan a los causados por tornados (23%) y huracanes (8%).

Por otro lado el número de heridos por este fenómeno se estima en cinco veces superior al de las muertes registradas. Este número de muertes es la cuarta parte de las acaecidas, en las décadas de los años 40 y 50 como consecuencia, principalmente, del movimiento de la población desde los campos hacia las ciudades. No obstante, debemos tener en cuenta que, con aumento de las actividades al aire libre (golf, montaña, etc.), se ha constatado un aumento de los accidentes debido al rayo en los últimos años.

Un rayo puede afectar a una persona bien impactando directamente sobre ella o bien en su cercanía. Las lesiones que deja un rayo son de distinta índole incluyendo: lesiones neurológicas y psíquicas, lesiones cardiovasculares y pulmonares, quemaduras, lesiones traumáticas y lesiones sensoriales

Impacto directo

Cuando un rayo impacta directamente sobre una persona cabe distinguir dos efectos:

En el primero, la descarga eléctrica de varios kiloamperios de intensidad se produce a través del cuerpo, por su interior.

En el segundo, la mayor parte de la corriente se transmite externamente mediante un arco voltaico que se produce entre la cabeza y el suelo.

El primero de los casos es el más peligroso pues la alta intensidad de corriente que atraviesa el cuerpo, puede producir graves quemaduras internas además de diversos efectos de índole eléctrica o química que sobre los tejidos, músculos y sistema nervioso se producen dando lugar en muchos casos a una parada cardiorrespiratoria. La probabilidad de sobrevivir a una descarga de este tipo es del orden del 15%.

El segundo de los casos la corriente que atraviesa el cuerpo no produce quemaduras internas, pues la corriente pasa por la superficie del cuerpo, aunque si externas. La probabilidad de sobrevivir a una descarga de este segundo tipo es del orden del 55%.

Descarga por diferencia de potencial en tierra en impacto próximo

Cuando un rayo impacta sobre la superficie terrestre, se produce una diferencia de potencial de carácter radial sobre la misma, proporcional a la resistividad del terreno y a la intensidad de la descarga. De esta forma se produce una diferencia de potencial entre las distintas partes del cuerpo en contacto con el suelo (pies) y consecuentemente una corriente eléctrica fluye a través el cuerpo. No obstante, los valores de la corriente eléctrica y su duración para un rayo que impacta a 10 metros no implican en general un gran peligro para el individuo. Evidentemente, si una persona esta tumbada el riesgo de sufrir algún daño es mayor.

No ocurre lo mismo en el caso de animales cuadrúpedos y los eventuales jinetes que los montan. La distancia entre sus miembros inferiores es lo suficientemente grande como para que los efectos de la corriente eléctrica sean fatales para ambos.

Medidas de protección frente al rayo

La trayectoria que sigue un rayo es muy caprichosa y por tanto no existe la seguridad absoluta de no sufrir una descarga, aunque tomemos las medidas de seguridad recomendadas. No obstante la probabilidad de sufrir un impacto siempre será menor cuando estas medidas sean tomadas en cuenta.

En caso de realizar una excursión a la montaña o realizar una actividad al aire libre, se recomienda acceder a la información meteorológica para dicha área para conocer, el riesgo de tormenta y programar debidamente cualquier actividad.

La formación de las tormentas es adelantada por la existencia de la nubosidad típica que las precede: los cumulus castellanus, nubes con forma de almenas a gran altitud que se forman principalmente a primeras horas de la mañana

Se debe prestar gran atención a todo tipo de bajada brusca de la presión atmosférica (mayor de 2 milibares por hora), sobre todo en verano, pues indican la posibilidad de tormentas.

Cuando la célula tormentosa se ha formado, los primeros relámpagos preceden aproximadamente unos 15 minutos a los primeros rayos a tierra.

Busque refugio en:

- **Edificios sólidos** (a poder ser con pararrayos, instalaciones eléctricas y de fontanería, pero sin estar en contacto con ellas), **automóviles, autobuses, trenes o barcos**. Son los sitios más seguros, pero solo si están cerrados, por actuar como jaulas de Faraday ante el rayo,
- Una espesa arboleda de **árboles bajos** rodeado de otros más elevados es un lugar que ofrece cierta seguridad
- Si se encuentra en campo abierto, **agáchese** y manténgase arrodillado o recogido con la cabeza y los pies juntos, más aún si los cabellos se le erizan. Nunca se tumbe a lo largo.
- En la montaña, **aléjese de los puntos más elevados** y descienda hacia los valles y las vaguadas. En casos extremos una pedriza a media ladera puede servir de refugio.
- El **interior de las cuevas** es un lugar seguro, **no así las entradas y las paredes**, donde el riesgo de impacto es importante.
- **Tápese las orejas** con las manos para reducir daños en los oídos.
- **No busque refugio bajo un árbol aislado** y puntos prominentes. Evítense los espacios abiertos y las superficies de agua.
- **No se debe circular en bicicleta, motocicletas, tractores y vehículos abiertos**
- **No correr**, las salpicaduras pueden ionizar el ambiente y favorecer una descarga.
- Las **tiendas de campaña, las cabañas y los cobertizos no ofrecen seguridad** frente al rayo.
- **Evítense** la proximidad de **alambrados metálicos, muros húmedos, farolas** etc.
- **No use el teléfono** durante las tormentas, **ni utilice la ducha**.
- **Utilizar materiales aislantes** como vestimenta, puede disminuir el riesgo de impacto de rayo en cumbres de montaña.
- **No salir a campo abierto** hasta asegurarse que la tormenta se haya alejado definitivamente. La mayoría de los accidentes causados por el rayo ocurren cuando el núcleo principal de la tormenta ya ha pasado, pero los rayos siguen impactando a varios kilómetros de la misma.

NOTA: Las figuras 1 y 2 no son las figuras incluidas en el trabajo original del autor.