

Capítulo II

“... ¿Querés que me deschave y diga quién sos vos?
¡Vos sos, che, vagoneta, el que atrasó el reloj! ... ”

Del Tango “El que atrasó el reloj”, con letra de **Enrique Cadícamo**

SIMULTANEIDAD

La Relatividad Especial nació de la mano del concepto de simultaneidad. En su artículo de 1905 Einstein mostró que no se puede afirmar que dos sucesos lejanos son simultáneos a menos que se adopte algún criterio inequívoco para la definición de simultaneidad.

Aceptando, entonces, que éste es el verdadero sustento de la Relatividad Especial, los análisis de este libro también parten de un profundo análisis de la simultaneidad. Sin embargo, siguiendo el espíritu global de esta obra, el mayor énfasis no lo pondré en la definición sino en el concepto de simultaneidad, necesario para establecer la relación entre hechos distantes, separados por una significativa distancia espacial.

Einstein definió este concepto mediante el empleo de señales luminosas.

Pero la velocidad de la luz posee una magnitud que escapa a los valores que manejamos rutinariamente. Por lo tanto creo conveniente emplear situaciones más fáciles de visualizar.

UN SALUDO SIMULTÁNEO

Buenas Intenciones

Hace mucho tiempo, todos los habitantes de una ciudad decidieron saludar con un estruendoso ¡BUENOS DÍAS! a una ciudad vecina.

La educada ciudad del cuento era Buenos Aires y la sorprendida ciudad, a ser saludada, era La Plata (ambas ciudades pertenecientes a la República Argentina). Para ello los casi 3,000,000 de habitantes de Buenos Aires se pusieron de acuerdo en emitir su saludo a las 8:00:00 de la mañana de un día prefijado.

En aquella época todos los habitantes empleaban buenos relojes y cabe recordar que Buenos Aires ocupa una superficie que se asemeja a un círculo de unos 10 km de diámetro.

***Nota:** A lo largo de mis desarrollos suelo usar valores numéricos aproximados para no desviar el foco de los conceptos que se discuten. Las explicaciones no se alteran si se emplean los valores numéricos correctos.*

La Plata se encuentra ubicada a unos 60 km al sur de Buenos Aires y el sonido recorre esta distancia en unos tres minutos, a razón de unos 10 km cada 30 segundos.

Esto hizo que el saludo llegara a las 8:03:00 a La Plata.

¿Correcto ?

Malos Resultados

¡FALSO! La gente de La Plata, lejos de agradecer la amable intención de Buenos Aires, se quejó de que, dado que querían mandarles un saludo, los porteños (así se conoce a los habitantes de Buenos Aires) podrían haberse tomado el trabajo de gritar al mismo tiempo.

Según los habitantes de La Plata, todo lo que recibieron fue un confuso murmullo que duró alrededor de medio minuto.

La razón es muy simple. Si todos los habitantes de Buenos Aires gritan a las 8:00:00, y el saludo va dirigido a La Plata, el grito de los habitantes del Norte de Buenos Aires debe primero atravesar la propia ciudad, antes de emprender el recorrido de los 60 km hacia el sur. Y este recorrido interno consume unos treinta segundos.

La Fig. II-1 muestra, gráficamente, el momento en que parte una onda sonora desde una determinada posición de origen.

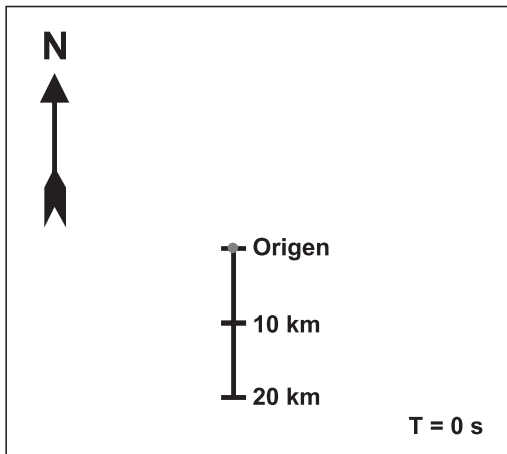


Fig. II-1: Parte una señal sonora, en el momento $T=0$ s, desde el origen.

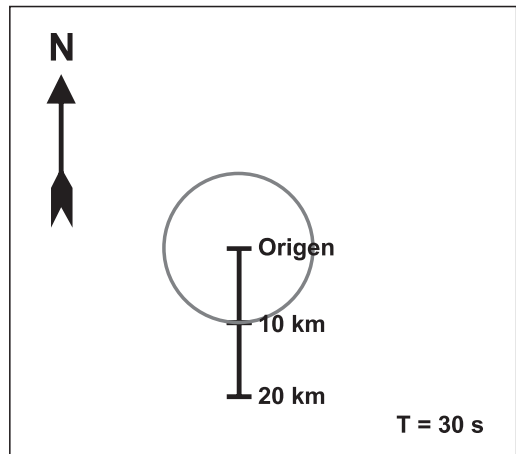


Fig. II-2: Cuando se alcanza el tiempo $T=30$ s, la onda sonora recorrió 10 km.

La Fig. II-2 muestra la ubicación de la señal sonora cuando transcurrieron 30 segundos desde su generación. En ese momento la onda se encuentra a unos 10 km del origen y avanzó en forma radial en todas direcciones, generando un “frente” circular centrado en el origen.

La Fig. II-3 esquematiza el estado de cosas a los 60 segundos de haber emitido la señal sonora.

La Fig. II-4, muestra la evolución de dos señales originadas simultáneamente pero en puntos alejados. Esta figura muestra la razón por la que el saludo no alcanzó la ciudad de La Plata en forma simultánea.

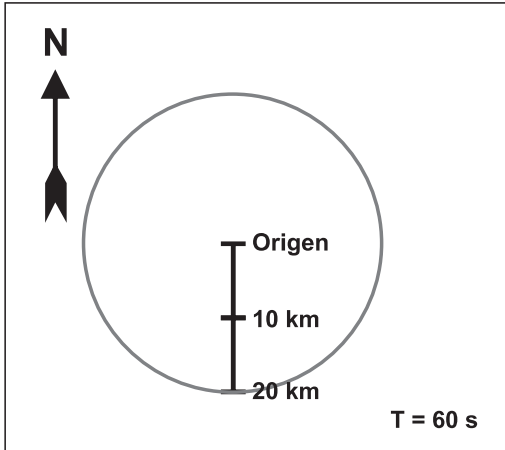


Fig. II-3: Al tiempo $T=60$ s, la onda sonora alcanza las posiciones que se encuentran a 20 km del origen.

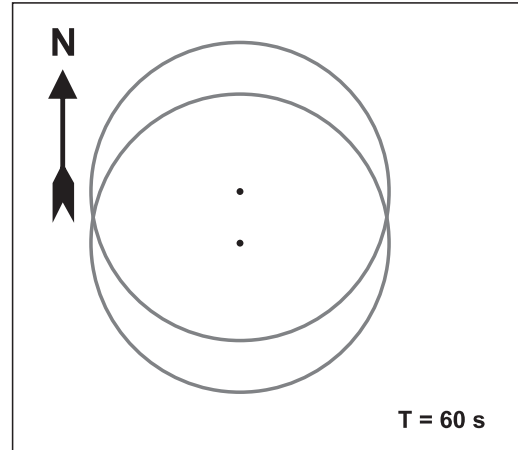


Fig. II-4: Desde dos orígenes distintos, se generan sendos sonidos simultáneamente. Las ondas alcanzan cada posición del eje Norte-Sur en diferentes momentos.

Mejorando el esfuerzo

Cuando se dieron cuenta de su error, los habitantes de Buenos Aires decidieron hacer las cosas adecuadamente y sincronizar sus saludos teniendo en cuenta la velocidad del sonido. De este modo, al día siguiente, los habitantes del norte de Buenos Aires gritaron ¡BUENOS DÍAS! a las 8:00:00 y los del sur a las 8:00:30, mientras que los demás lo hicieron en un momento intermedio, de acuerdo con su ubicación geográfica.

El resultado de este tipo de coordinación puede verse en los esquemas de las figuras II-5 a II-8. Cada posición emite su señal sonora cuando es alcanzada por la primera señal emitida. En las figuras se indican sólo tres posiciones alineadas hacia el sur e identificadas con los números 1, 2 y 3.

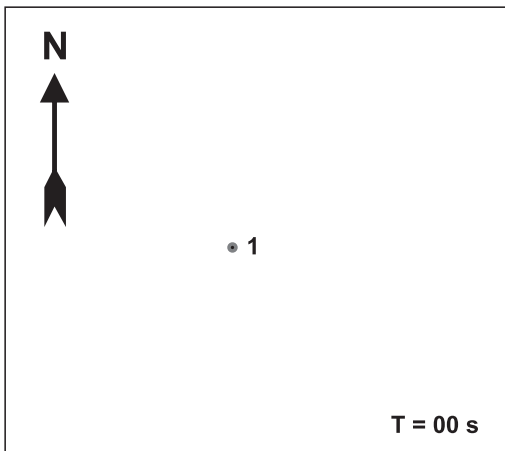


Fig. II-5: A $T=00$ s, se emite una onda sonora desde la posición identificada con el número 1.

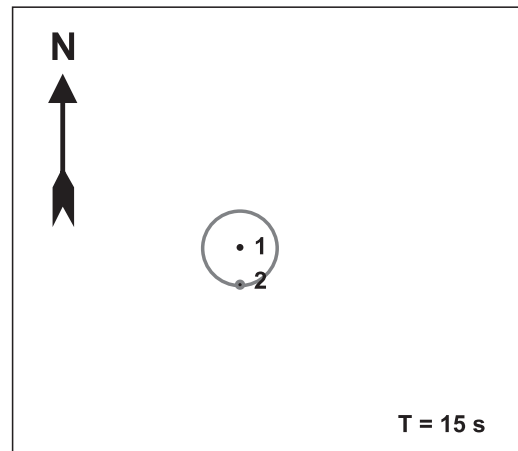


Fig. II-6: Cuando la señal alcanza la posición 2, desde ésta se emite una nueva señal.

Simultaneidad

La Fig. II-5 muestra el momento en que la señal parte desde la posición **1**. Al alcanzar la posición **2**, se emite una nueva señal desde esta posición (Fig. II-6). La situación se repite cuando las señales alcanzan la posición **3** (Fig. II-7).

Como puede observarse en la Fig. II-8, el frente de ondas es único en dirección Sur. Todas las ondas emitidas alcanzan las sucesivas posiciones en forma simultánea.

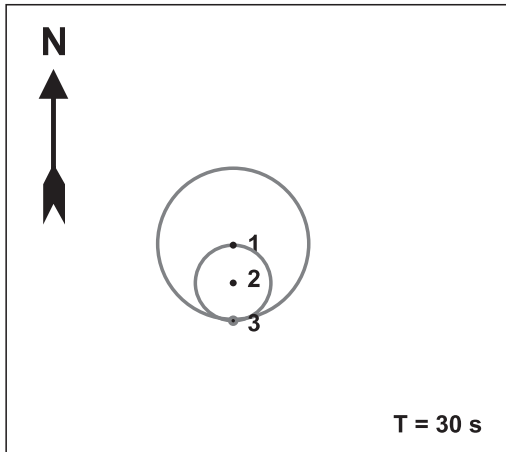


Fig. II-7: A $T=30$ s, las dos señales previas alcanzan la posición 3. En ese momento, desde esta última posición parte una nueva señal.

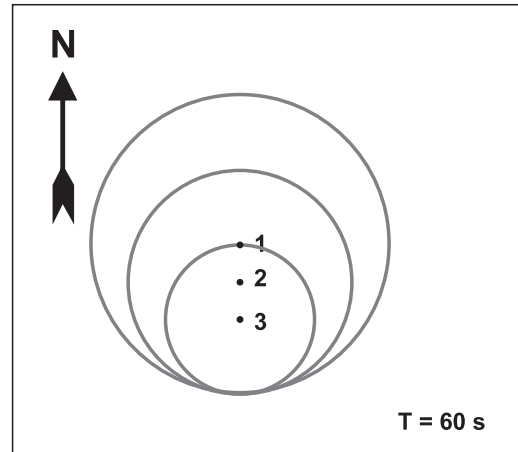


Fig. II-8: A los 60 s se observa que el frente de avance hacia el Sur presenta una perfecta coordinación de las señales emitidas.

De este modo la gente de La Plata quedó más satisfecha, aunque hicieron notar que, en los suburbios del Este y el Oeste, el saludo llegó nuevamente distorsionado. Esta observación coincide con la pérdida de simultaneidad, apreciable en la Fig. II-8, hacia posiciones al Este y al Oeste de la línea Norte-Sur que une las posiciones **1**, **2** y **3**.

Resultado Inesperado

El éxito del saludo fue razonable pero, cuando los habitantes de Buenos Aires decidieron festejar su mayor eficiencia, recibieron una amarga queja de los habitantes de Lujan, también a unos 60 km de Buenos Aires pero en dirección norte.

La queja fue por el desorden creciente de Buenos Aires. El primer día les había llegado un murmullo de unos 30 segundos de duración (igual que en la ciudad de La Plata), pero al día siguiente les llegó un ruido de 1 minuto de duración.

La propia Fig. II-8 explica este fenómeno. Al coordinar el avance de la señales hacia el Sur, se aumenta la falta de simultaneidad en la dirección Norte.

Desconcertados los habitantes de Buenos Aires descubrieron que no podían realizar un saludo simultáneo para todas las ciudades de sus alrededores. Haciendo simultáneo el sonido en una dirección no podían hacerlo en otra.

En consecuencia los habitantes de Buenos Aires decidieron no saludar nunca más a habitantes de otras ciudades, dando origen a esta bien conocida costumbre porteña. ☺

RAYOS Y TRUENOS

Otro ejemplo de la falta de simultaneidad absoluta es la duración del trueno con respecto al relámpago. El fenómeno físico (chispazo eléctrico) dura más o menos lo que vemos (el relámpago) pero la señal sonora no sólo llega más tarde, sino que dura mucho más. La razón de la mayor duración del trueno radica claramente en la diferente distancia (hasta nuestros oídos) de los diferentes puntos del relámpago. El relámpago es un fenómeno que abarca varios kilómetros, en tanto que nuestro oído es un receptor puntual ubicado a diferentes distancias de cada posición en que se genera el chispazo eléctrico.

Pregunta: ¿La falta de simultaneidad absoluta obedece a un problema que puede solucionarse, o es una propiedad del sistema?

Respuesta: Por mucho que demos vuelta al asunto, es imposible hacer que dos sonidos distantes resulten simultáneos para todos los observadores. Por lo tanto, la falta de simultaneidad absoluta es una característica de los sistemas analizados.

Observaciones: Entre otros innumerables ejemplos, la increíble genialidad de Einstein se puso de manifiesto cuando reconoció esta propiedad de los sistemas físicos y las consecuencias que derivan de él.

Ingenuamente podríamos “resolver” el problema diciendo que existe una simultaneidad absoluta, con independencia de los observadores. Entonces, si todas las personas gritan a las 8:00:00, definimos al sonido como simultáneo. Si los que escuchan no entienden el mensaje, decimos que el problema es de ellos y, de esta forma, concluimos el tema.

Si aceptamos esta conclusión conviene recordar que la Bomba Atómica funciona porque hay gente que decidió profundizar el tema. Y no estoy diciendo que la Bomba Atómica sea buena o mala..., sólo digo que existe.

Analicemos la expresión “...con independencia de los observadores...” que empleé en un párrafo previo. En ese contexto estoy haciendo referencia a las personas que escuchan. Sin embargo en física, debemos equiparar la expresión “observador” con “elemento que interactúa”. Un átomo que recibe un rayo luminoso e interactúa con él, es el equivalente de un “observador” para la señal luminosa. Y aquí es donde se torna gigantesca la concepción de Einstein.

Einstein asumió que todas las interacciones físicas se producen, cómo máximo, a velocidad c

Nota: En todo este libro voy a emplear 300,000 km/s como valor aproximado de c (velocidad de la luz en el vacío).

Aceptando este axioma resulta que no existen velocidades infinitas y por lo tanto no existe simultaneidad absoluta en el universo. Al afirmar que dos eventos distantes son simultáneos se está aceptando (implícita o explícitamente) alguna definición de simultaneidad.

En la solución ingenua del problema del sonido, empleamos una velocidad mucho más grande para definir en forma absoluta la simultaneidad. La luz es casi 1,000,000

Simultaneidad

de veces más veloz que el sonido. De este modo una separación de 60 km se torna despreciable para las mediciones con ondas electromagnéticas. Por eso podemos sincronizar los relojes de una ciudad pero no los saludos acústicos.

Eso quiere decir que, si empleamos un sistema que sea un millón de veces más grande, el problema con la luz adquiere la misma magnitud que con el sonido.

Supongamos, entonces, que ahora es el Sistema Solar el que decide saludar con una señal luminosa a todos los sistemas planetarios vecinos.

Otra vez resulta imposible emitir una señal que llegue en forma simultánea a todas las estrellas. El desfase entre la señal de La Tierra y la señal de Saturno puede ser mayor que una hora. Y si logramos la simultaneidad en una dirección se produce un desajuste en todas las otras.

Sin embargo podríamos recurrir a la misma solución ingenua ya mencionada.

- Sincronizamos todos los relojes y mandamos la señal a las 8:00:00.
- Definimos esa situación como una señal simultánea y nos desentendemos de la dificultad de los receptores para recibirla como tal.

¡Un momento!

La situación ahora no es tan simple. La pregunta que surge es: ¿Cómo se sincronizan los relojes del sistema solar?

Porque ahora no se dispone de una señal “infinitamente” rápida para colocar todos los relojes a la misma hora. Con el sonido, pudimos usar la luz como si tuviera velocidad infinita. Pero con la luz, ¿qué debemos emplear?

Supongamos que aunque no se dispone de una velocidad infinita, imaginamos que ésta existe y cuando decimos que en una ciudad de Titán (un satélite de Saturno) y en Buenos Aires son las 8:00:00 es porque estas cosas ocurren “simultáneamente”.

En el próximo capítulo vamos a ver que este planteo es bastante más complejo de lo que puede parecer en un primer análisis.

CONCLUSIONES PRINCIPALES DE ESTE CAPÍTULO

- No se pueden establecer simultaneidades absolutas (para todos los observadores), en la medida que no existan velocidades infinitas.
- Para declarar que dos sucesos separados espacialmente son simultáneos, la simultaneidad debe ser definida mediante algún mecanismo o proceso de medición.