

## LA RELATIVIDAD, UN PROBLEMA GEOGRÁFICO<sup>1</sup>

Por Carlos Sáenz de la Calzada<sup>2</sup>

Que las teorías relativistas no surgieron de la cabeza del dios Einstein sin precedentes epistemológicos y provistas de todas sus armas, como la diosa Minerva naciera de la cabeza de Zeus, es un hecho indudable que el propio Einstein dotado, por lo demás, de una modestia ejemplar, admitiría plenamente y sin regateo.

Efectivamente, matemáticos hubo en el siglo XIX, empeñados en la elaboración de geometrías no euclidianas, que como el ruso Lobatchevski (1793-1865) y el alemán Riemann (1826-1866) avizoraron ya las nuevas teorías al cuestionar lo absoluto del tiempo y del espacio, con lo que ponían en crisis el universo mental de Newton considerado como axiomático, por ejemplo, en la obra ingente del geógrafo Immanuel Kant. No olvidamos tampoco, que el físico y filósofo austriaco Ernest Mach (1838-1916) estableció de manera categórica la relatividad del espacio.

Además, quizá como un juego, que devino en verdad científica incuestionable, Fitzgerald había planteado su asombrosa *contracción* que más tarde precisara Lorenz en sus conocidas ecuaciones. Y, por fin, Michelson y Morley, al demostrar la fijeza de la velocidad de la luz proyectada en cualquier dirección del supuesto éter, entregaron su teoría especial de la relatividad, que el sabio alemán diera a conocer, ante la estupefacción del mundo científico contemporáneo, en 1905.

Einstein basa sus supuestos en hechos geográficos, así como en “experimentos de la imaginación” (*Gedankenexperiment*) fácilmente transferibles a hechos de superficie. Por ejemplo, en su libro *La relatividad*, expone:

“Toda descripción del lugar en que se produce un acontecimiento, o bien, en donde se encuentra un objeto, consiste en indicar el punto de un cuerpo rígido (cuerpo de referencia) con el cual dicho acontecimiento coincide. Este procedimiento no sólo se emplea en la descripción científica sino también en la vida cotidiana. Si analizamos la indicación de lugar ‘en Berlín, en la plaza de Postdam’ encontramos que su significación es la siguiente: El suelo es el cuerpo rígido al cual se refiere la indicación de lugar. Sobre ese suelo ‘la plaza de Postdam en Berlín ésta marcada por un punto asociado a un nombre, con el cual el acontecimiento coincide en el espacio. Si una nube se encuentra arriba de la plaza de Postdam, entonces el lugar de esta nube puede ser determinado, refiriéndolo a la superficie de la Tierra, erigiendo verticalmente una varilla que llegue hasta la nube... Con este ejemplo advertimos de *qué* manera se ha realizado un perfeccionamiento de la noción lugar”. (Capítulo I).

“Mi cuerpo de referencia (el vagón) se encuentra en reposo, de una manera permanente. Pero durante el periodo de retardación del movimiento se produce, con respecto al vagón, un campo gravitatorio dirigido hacia adelante y variable con el tiempo. Bajo la influencia de este campo, el terraplén se desplaza junto con la Tierra con un movimiento no uniforme, de tal suerte que su velocidad original, dirigida hacia atrás, disminuye constantemente. Dicho campo gravitatorio es, también, el que causa el impulso experimentado por el observador”. (Capítulo XX).

La primera referencia corresponde a la relatividad especial; la segunda, a la relatividad generalizada. En ambos, los ejemplos que se citan son de índole geográfica, cual sucede con los panegiristas de Einstein. Barcos, ferrocarriles, son ejemplos a los que recurre constantemente, es decir, las relaciones espaciales en *superficie* constituyen las referencias de partida para llegar a las más elevadas conclusiones. El fundamento geográfico, por tanto, se presenta como inevitable en lo que tiene de relaciones espaciales.

¿Por qué, pues, se margina la teoría de la relatividad en la enseñanza de la geografía? En ninguno de nuestros programas figura, ni siquiera como implicación colateral a nuestra ciencia. Y es que su aspecto matemático que “a priori” se considera abstruso y que desemboca en fórmulas

---

<sup>1</sup> Anuario de Geografía, 1980.

<sup>2</sup> Profesor de Tiempo Completo del Colegio de Geografía.

aplicables al campo astronómico, se nos antoja ajeno. Crasso error. En este artículo demostraremos, guiados por Gamow, cómo las fórmulas que sirven de base a las teorías relativistas tienen clara vigencia en los fenómenos de superficie inherentes al geógrafo; y cómo su generalización a otros espacios surge naturalmente de concepciones estrictamente geográficas.

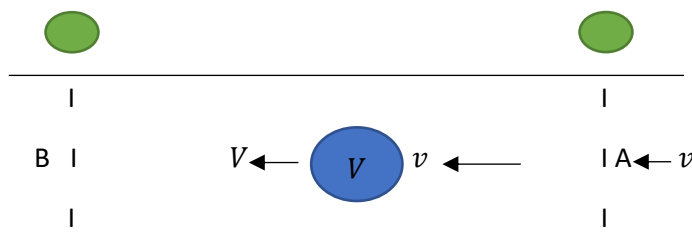
Que el tiempo es la cuarta dimensión nos resulta tan evidente que hasta parece ocioso su planteamiento. Si la geografía se combate, a veces con encono, por los seguidores de otras disciplinas científicas, nadie osa discutirnos, como propia de los geógrafos, la localización en superficie de cualquier fenómeno. Aceptamos esta restricción y mencionemos un hecho geográfico cualquiera: por ejemplo, la erupción del Xitle, volcán adventicio del Ajusco. Necesitamos la latitud y así decimos: 19° 15' N; debemos cortar este paralelo con el necesario meridiano: 99° 20' O. ¿Hemos localizado con ello la erupción del Xitle? De ninguna manera, pues su edificio no se encuentra al nivel del mar, por lo que señalamos: 3,121 metros de altitud. Y volvemos a preguntarnos: ¿Hemos localizado con ello la erupción del Xitle? Ciertamente no, pues no se produjo ayer. De acuerdo con García Cubas recurriremos al tiempo, como cuarta dimensión, y estableceremos una fecha imprescindible para localizar el fenómeno: 24 de abril del año 76 de nuestra era.

Así vemos, incuestionablemente, que el tiempo es la cuarta dimensión y adquirimos conciencia de que el geógrafo tiene que considerar como esencial en sus estudios a la cuarta dimensión: el tiempo, que es ajena, por ejemplo, a los intereses del ecólogo. Es decir, una sana concepción de la geografía. La de basarse necesariamente en el *continuo espaciotemporal* que preconizara Minkowski en 1908 manteniendo la necesidad de copular espacio y tiempo, sin lo cual no tendría nuestra ciencia una cabal expresión.

En las fórmulas que acompañan siempre a los estudios sobre relatividad, nos encontramos con un factor de corrección conturbador:

$$V = \frac{v^2}{c^2}$$

En que  $v$  es la velocidad de un bolido y  $c$  es la velocidad de la luz. Entonces pensamos que esto es ajeno a la geografía. Pero resulta evidente que si hay un juego de velocidades éste no puede ser ajeno a los fenómenos de superficie en que se interrelacionan tantas manifestaciones cinéticas: el viento, las corrientes fluviales... Partamos, por tanto, de la situación que nos plantea una lancha que a velocidad  $V$  discurre en un río cuya corriente tiene un desplazamiento que señalamos como  $v$ .



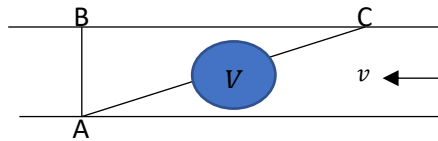
Consideremos, en primer término, a la lancha trasladándose de A a B (situación determinada por los árboles "cuerpos rígidos de referencia que situamos en una orilla, sobre tierra firme, en la correspondiente proyección ortogonal) y, de vuelta, contra la corriente, de B a A. En el primer caso, la velocidad de la embarcación será de  $V+v$ ; en el segundo de  $V-v$ ;  $D$  será la distancia recorrida en cada caso y el tiempo empleado,  $t$ , de ida y vuelta, vendrá expresado por:

$$t = \frac{D}{V+v} + \frac{D}{V-v} = \frac{DV-Dv+DV+Dv}{(V-v)(V-v)} = \frac{2DV}{V^2-v^2} = \frac{2\frac{D}{V}}{1-\frac{v^2}{V^2}} \quad (1)$$

encontrándonos ya, al dividir en el último paso por  $V^2$ , con el valor:

$1 - \frac{v^2}{V^2}$  en el denominador.

Consideremos ahora el traslado de orilla a orilla para alcanzar desde A el punto B. Dada la velocidad  $v$  de la corriente, tendremos que enfilar la proa hacia el punto C, pudiendo expresar el proceso en la figura correspondiente:



Entonces podemos escribir la proporción:

$$\frac{BC}{AC} = \frac{v}{V}, \text{ o sea } BC = AC \frac{v}{V}$$

En el triángulo ABC, aplicando el teorema de Pitágoras:  $(AB)^2 + (BC)^2 = (AC)^2$

y sustituyendo BC por el valor obtenido:  $(AB)^2 + (AC)^2 \frac{v^2}{V^2} = (AC)^2$

de donde:  $(AB)^2 = (AC)^2 - (AC)^2 \frac{v^2}{V^2} = (AC)^2 (1 - \frac{v^2}{V^2})$ , y:  $(AC)^2 = \frac{(AB)^2}{1 - \frac{v^2}{V^2}}$  ;

extrayendo la raíz cuadrada  $AC = \frac{AB}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}}$

haciendo  $AB = D$  en la ida y vuelta de la embarcación, el tiempo invertido será:

$$t^1 = \frac{2D/V}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}} \quad (2)$$

En agua mansa, el valor:  $t_0 = \frac{2D}{V}$ ,  $t^1$  nos indica el tiempo transcurrido cuando interfiere la velocidad de la corriente,  $v$ .

Sustituyendo el numerador de (2) por su valor t:

$$t_1 = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}}$$

Ahora, si establecemos la razón entre las fórmulas (1) y (2), tenemos:

$$\frac{t}{t_1} = \frac{\frac{2D}{1 - \frac{v^2}{V^2}}}{\frac{2D}{V^2} / \sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}} = \frac{1 - \frac{v^2}{V^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}$$

obteniendo así ese factor conturbador al que nos hemos referido, sin salirnos del ámbito geográfico.

La célebre contracción de Fitzgerald considera que los cuerpos en movimiento sufren una reducción progresiva de su tamaño a medida que aumenta la aceleración:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}$$

De esta forma, si nos referimos a las fórmulas generalizadas en que, según Michelson y Morley,  $v$  sería el viento del éter y  $V$  se transformaría en  $c$ , la velocidad de la luz, obtendríamos las fórmulas tan conocidas, comprendida la de la masa, progresivamente aumentada por la contracción, valga decir por la velocidad  $v$  del móvil:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Queda patente que la relatividad tiene una indudable expresión geográfica, pues sus ideas básicas se fundamentan sobre problemas de relaciones espaciales en superficie. Partiendo de ellas, Einstein destruyó los conceptos clásicos de Galileo, Descartes y Newton, demostró la inexistencia de espacio y tiempo absolutos cuando se consideran desde distintos marcos de referencia (y de allí el imposible de simultaneidad), estableció que no se conocen ejes absolutos en reposo (*relatividad* de nuestras percepciones), afirmó la constancia y límite en la velocidad de la luz ya que, si un cuerpo pudiera trasladarse a la velocidad de un rayo luminoso, su masa sería infinita. Y todo ello basado en el hecho, hoy incuestionable, de que el movimiento contrae el espacio y dilata el tiempo.

La relatividad, por todo lo expuesto, es de interés primordial para el geógrafo contemporáneo y no debemos permitir que su enseñanza sea marginada en los estudios superiores de geografía.

Don Miguel de Unamuno postulaba la necesidad de crear una intrahistoria que desentrañara la urdimbre de los acontecimientos temporales. Trasladando la idea a nuestro campo, podríamos postular la necesidad de una intrageografía que apurase la causalidad de los acontecimientos espaciales que, hasta hoy, hemos apreciado solamente grosso-modo. Conocemos en sus fachadas nuestra ciencia; penetremos valientemente en su interior y gocemos de su magnificencia. Uno de los hilos conductores que, por lo demás, nos ayudaría a actualizarnos en el

camino rezagado que llevamos respecto a las demás ciencias, es, necesariamente la teoría de la relatividad.

#### BIBLIOGRAFÍA SUMARIA

Einstein, A. *La Relatividad*. Editorial Grijalbo, Col. Dina. México, 1979.

Gamow, G. *Biografía de la Física*. Alianza Editorial. Madrid, 1980.

Vera, F. *Evolución del pensamiento científico*. Editorial Sudamericana. B. Aires, 1945.