

# El viejo profesor

José Adrián Castelo Martínez

## Resumen

Hace años, un viejo profesor de física de instituto llamó a su despacho a Eduardo, un alumno desmotivado. Conforme se desarrolló la conversación, al profesor se le ocurrió una idea para motivar a su alumno: le hablaría acerca de agujeros negros. Esto fue lo que le contó.

—¿Sí?— se oyó tras la puerta.

— Soy yo, profesor— contestó una tímida voz.

— Pasa, pasa.

El chico pasó al despacho de su profesor de física. Frente a él tenía a un hombre de sesenta y tantos, con una calva incipiente y una sonrisa cansada. Aun así, su cara transmitía confianza, inspiraba... tranquilidad.

— Siéntate, Eduardo. Y relájate, no te he llamado para echarte ninguna charla.

— Me deja usted más tranquilo, señor.

— Tutéame, por favor. Te he llamado para que hablemos acerca de tu falta de interés estos últimos meses. Siempre has sido un buen estudiante. ¿Ocurre algo? Puedes contármelo si lo deseas.

— No, no ocurre nada grave. Es que...— titubeó el chico—, es que no siento que el instituto me sirva para nada. No soy capaz siquiera de prestar atención en clase. Solo en su... perdón, tu clase—añadió rápidamente, sacando una sonrisa al viejo profesor.

— Ya, claro... en la mía sobre todo, ¿no?— bromé, y observó que Eduardo se relajaba.

Mientras, el profesor vio como su estudiante, tal vez inquieto, tal vez curioso, miraba a todas partes por el despacho. Estanterías repletas de libros, más papeles sobre la mesa de los que el profesor reconocería... y sobresaliendo, un gran libro muy desgastado, tan o más grande que un viejo listín telefónico. La mirada del chico estaba puesta sobre él. En el lomo se leía "Gravitation". Una idea acudió a la mente del profesor.

— Bueno, aunque no hayas estado muy pendiente en clase, ¿sabrías decirme qué es la velocidad de escape?

— ¿La velocidad que necesita un cuerpo para escapar de un planeta?— afirmó y preguntó a la vez Eduardo.

— Técnicamente, es la velocidad necesaria para llegar al infinito en reposo, sin velocidad alguna. Aunque llanamente sí, es más o menos la velocidad necesaria para escapar del tirón gra-

vitacional de una cierta masa que te atrae, por ejemplo un planeta. Si partes de la superficie, se encuentra que el cuadrado de esta velocidad es dos veces la constante de la gravitación universal, por la masa del planeta entre su radio— dijo, y garabateó rápidamente la siguiente expresión sobre un papel:

$$v^2 = \frac{2GM}{R}$$

— Mi pregunta es—continuó el profesor—, ¿qué crees que ocurriría si en esa expresión pongo como velocidad la velocidad de la luz?

— Pues... —dijo, y se permitió unos segundos para pensar—, si no recuerdo mal, la velocidad de la luz es la velocidad más alta en el universo. Si algo tiene masa, ni siquiera puede alcanzarla.

— ¡Exacto!— exclamó el profesor, contento de que el estudiante fuera por donde él esperaba.— ¿Y qué más podríamos concluir? ¿Qué le ocurriría a la luz que esa estrella emitiese?

— ¿Que llegaría sin velocidad al infinito?— volvió a afirmar y responder a la vez el chico.

— Pues, de hecho, sí, algo así. A la luz le cuesta tanto escapar de esa gravedad tan fuerte, que deja toda su energía en intentar salir. Pero la luz no se puede frenar ni un poquito, lo que ocurre es que su longitud de onda se estira y se estira— dijo, y acompañó la explicación con un gesto haciendo como que estiraba una tira de goma— hasta que se hace invisible a nuestros ojos. Finalmente ningún aparato podría detectarla. Y cualquier cosa a menor velocidad ni siquiera puede escapar... ¿Has leído alguna vez sobre algo que se comporte tan raro?

— ¡Ah, claro!— contestó Eduardo.— ¡Hablamos sobre un agujero negro! ¿Pero eso no era algo para viajar por el universo, que se usa en películas de ciencia ficción?

— Bueno, pero las películas, películas son —rió el profesor,— y pocas hacen honor a la realidad. En física, cuando hablamos de un agujero negro

hablamos de una región del espacio de la cual ni la luz puede escapar, y por tanto nada dentro de ella te puede influir. Aunque lo que te he contado es la versión primitiva de agujero negro, que se le ocurrió a dos científicos, Michell y Laplace, hace casi doscientos años. Pero algo más de cien años después, un físico brillante llamado Albert Einstein dio una versión mejorada de la teoría de la gravedad que la que se enseña en el instituto: la teoría de la relatividad general. Y resulta que una solución de las ecuaciones, ¡son los agujeros negros! Es curioso que, aunque la teoría de la gravedad de Newton no funciona en este contexto, resulta que si en la ecuación que te he escrito antes cambias la velocidad del cuerpo  $v$  por la de la luz, que se denota por la letra  $c$ , la expresión resultante para  $R$  coincide con la que se obtiene con las ecuaciones que Einstein encontró, y se conoce como radio de Schwarzschild:

$$R_S = \frac{2GM}{c^2}$$

que es el radio del agujero negro.

Eduardo pareció animarse con el tema, y olvidando que hablaba con un profesor, dio rienda suelta a su imaginación.

– Pero profesor, la fórmula que me has enseñado es demasiado simple. Según ella, dado un objeto de cierta masa, ¿siempre puedo comprimirlo y formar un agujero negro de cierto radio?

– Pues sí. Aunque si echamos números, verás que es muy pequeño. Por ejemplo, pese a que la tierra tiene mucha masa, necesitarías comprimirla hasta el tamaño de una mandarina para formar un agujero negro, y al Sol necesitarías comprimirlo hasta el tamaño de una ciudad pequeña— recitó de memoria el profesor.

Eduardo quedó alucinado. Al irse de allí incluso se dedicaría a calcular muchos radios de posibles agujeros negros. Pero en ese momento otra pregunta le vino a la cabeza:

– Entonces profesor, ¿qué ve alguien fuera de un agujero negro si deja caer algo en su interior?

– Esa es una muy buena pregunta,—dijo, orgulloso de que se la hiciera.— Resulta que la gravedad no cambia sólo la longitud de onda de la luz, sino que afecta al tiempo medido por los relojes. Cuanto más cerca estés de la fuente de gravedad, tu reloj irá más lento que el de alguien que esté más lejos. Eso no solo pasa en un agujero negro, sino en cualquier campo gravitatorio. Esos efectos han de tenerse en cuenta por ejemplo en los satélites que usamos para nuestros GPS's.

El profesor esperó un tiempo prudencial para que su alumno acomodara tantas nuevas ideas, y siguió:

– Luego alguien desde fuera no ve que nada caiga al agujero negro, sino que ve a las cosas que caen frenarse más y más (su tiempo se ralentiza), hasta prácticamente verlas quietas.

– Pero entonces, ¿por qué los llamamos agujeros negros?

– De nuevo, una buena pregunta. Si todo se quedase quieto fuera y lo siguiéramos viendo, no serían negros. Pero recuerda el segundo efecto: la longitud de onda de la luz que emiten esos objetos que caen se estira cada vez más, hasta que nuestros ojos no son capaces de captarla, y finalmente ningún aparato de medida puede hacerlo.

El profesor se sabía con toda la atención de su alumno, y decidió dar un último golpe de efecto:

– De hecho, Eduardo, cuando la gravedad es tan fuerte, hasta la trayectoria de la propia luz se curva. La esfera determinada por el radio de Schwarzschild (denominada horizonte de sucesos) es en sí una esfera que contiene los rayos de luz que intentan salir del agujero negro, pero no pueden y se van curvando. Este efecto ha sido comprobado incluso con el Sol, y se pudo fotografiar una estrella que quedaba justo detrás durante un eclipse. Pero nuestra estrella tiene muy poca masa en comparación: un agujero negro curva tanto la luz, que incluso antes del horizonte de sucesos hay una distancia que determina lo que se llama “esfera de fotones”: en ella, la luz puede orbitar al propio agujero negro. Si te situases allí, la luz que diera en tu nuca podría rebotar, dar la vuelta y llegar hasta tus ojos. ¡Verías tu propia nuca!

El profesor debió pensar que era demasiada información en poco tiempo, y que quizá era mejor acabar ya la charla. Pero recordó una última cosa que podría ser interesante discutir.

– Eduardo,—dijo— ¿recuerdas que en clase hemos visto el modelo de Rutherford para el átomo?

– Sí, el de los electrones orbitando al núcleo, como si fuera un pequeño sistema solar.

– Muy bien. Recordarás que os he comentado que éste modelo resultó muy bueno para explicar el resultado del experimento que el mismo Rutherford llevó a cabo pero; y esto no os lo he contado todavía, resulta que no es tan bueno. Un electrón orbitando el núcleo estaría acelerado; pues la fuerza con que lo atrae el núcleo lo obliga a desviarse continuamente de su trayectoria rectilínea, y ocurre que cuando una partícula cargada se somete a una aceleración radia energía en forma de ondas electromagnéticas. Pero conforme el electrón pierda energía, orbitará cada vez más cerca del núcleo, cayendo finalmente hacia él

describiendo una espiral en el proceso. Ello haría a la materia inestable, y en los próximos días en clase veremos como se solucionó este problema.

– Pero, ¿qué tiene que ver ésto con los agujeros negros?

– Ahí quería llegar, Eduardo. Al igual que las partículas cargadas orbitando el núcleo radian, cualesquiera dos objetos orbitando el uno respecto al otro en el espacio radian también, pero en este caso ondas gravitatorias, que viajarían por el espacio a la velocidad a la luz. En tal proceso, los cuerpos irían perdiendo energía y por tanto acercándose el uno al otro, hasta que al final se fusionaran en un único agujero negro. Pues bien: aun no se han detectado tales ondas, pero se están diseñando ya experimentos que podrían ser capaces de detectarlas.

El viejo profesor decidió que ya era hora de dejar que el chico se fuera y digiriera toda la información que le había dado. Él sabía que no era importante que la entendiera, pero esperaba que le motivara a ir con más ganas a clase viendo todo lo que se podía aprender. Cuando Eduardo dejó el despacho, el profesor se reclinó en su asiento y soltó un suspiro; tal vez nostálgico, y una sonrisa de quien queda contento con el trabajo bien hecho.

---

Catorce años después, el profesor era ya un hombre mayor, demasiado mayor para seguir dando clase. Rodeado de sus viejos libros de física en el despacho de su casa, pasaba las tardes ojeando alguno, y lamentando no haber podido hacer más de lo que hizo en su época de estudiante, habiendo acabado de profesor de instituto unos años después de finalizar su doctorado. Aquella mañana su mujer le llevó el desayuno

al despacho. El viejo profesor rápidamente retiró los papeles y libros que habían desperdigados por su mesa, y le recriminó cariñosamente a su mujer que lo cuidara tanto. La mujer, con una sonrisa mal disimulada en la cara, le comentó:

– Acabo de mirar el buzón, y había una carta para ti.

– ¿Para mí?— contestó sorprendido.

Abrió la carta, y saco un montón de hojas en las que pudo entrever gráficas y ecuaciones. Extrañado, leyó el título: “*Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger*”. ¡Era un artículo sobre las recién descubiertas ondas gravitatorias! Siguió bajando, ojeando las gráficas. La frecuencia de las ondas había ido aumentando conforme los agujeros negros se aproximaban, y finalmente se había radiado la energía correspondiente a tres masas solares en el proceso. Se podía comprobar además que el área del agujero negro final era mayor que la suma de las áreas de los iniciales, como el teorema de Hawking de las áreas requería. Casi sin darse cuenta, el ya retirado profesor llegó al final del artículo. Para su sorpresa, el artículo acababa con una lista de casi tres páginas con todas las personas que habían participado en el experimento que las había detectado. Al llegar a la tercera, vio un nombre rodeado: E. J. Sánchez. Al terminar toda la retahíla de nombres, al final del artículo, pudo leer la siguiente frase manuscrita: “Gracias, profesor. Si no fuera por usted; perdón, por ti, no estaría donde hoy estoy. De verdad, gracias.”

Finalmente, pensó el viejo profesor, todos esos años enseñando física e intentado motivar a las nuevas generaciones habían valido la pena. Y tanto que la habían valido.