

Fernando Izaurieta

Agujeros negros

Destructores del tiempo

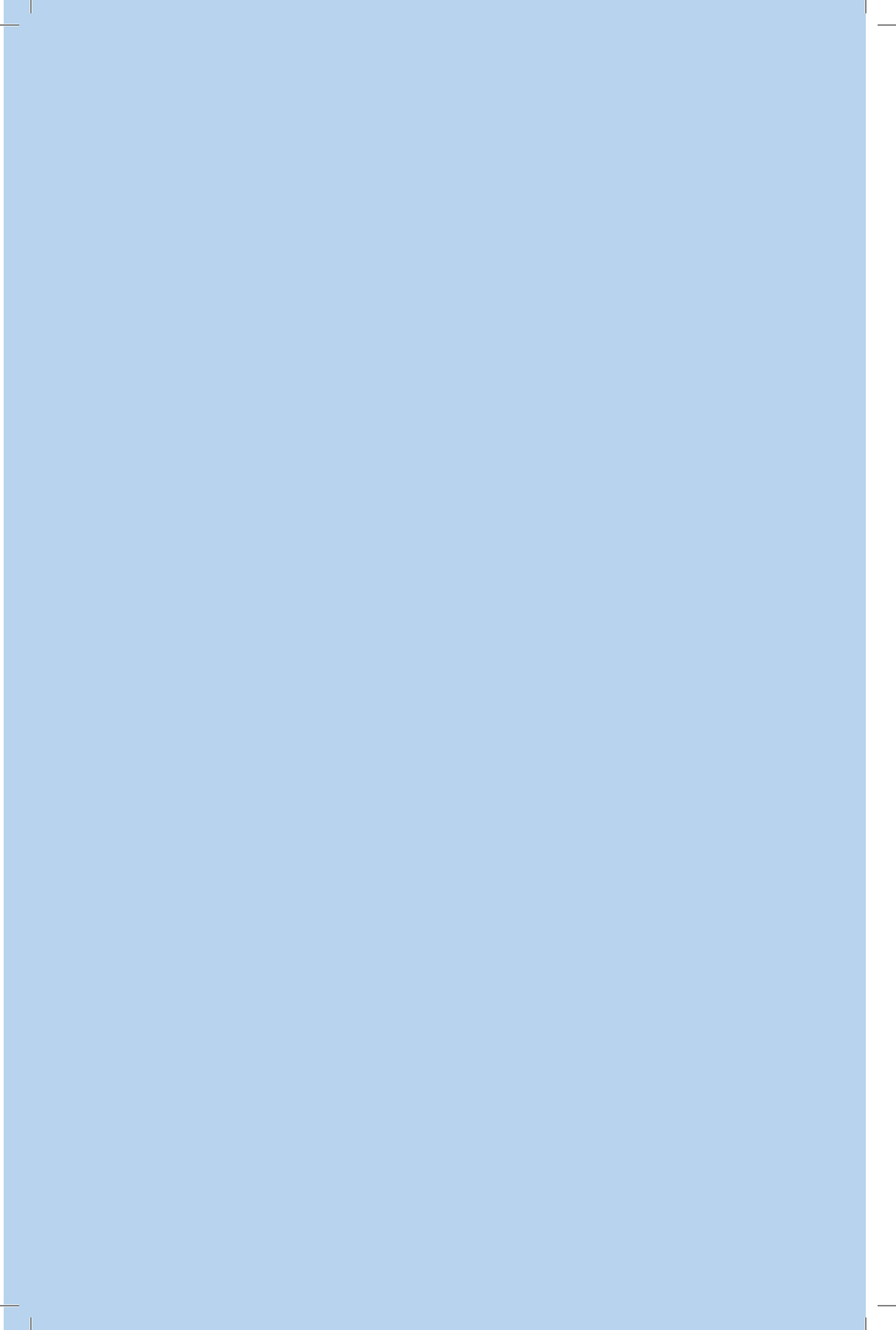
 **Planeta**

CAPÍTULO I

El monstruo escondido

... estamos aquí para averiguar qué se esconde en los rincones de tu alma impenitente y qué hiciste antes de llegar a este lugar sagrado.

UMBERTO ECO, *EL NOMBRE DE LA ROSA* (1980)



Einstein se sentía victorioso. Su Teoría Especial de la Relatividad calzaba a la perfección con nuestra comprensión del electromagnetismo, la parte de la física que describe de qué está hecha la luz. Aún más, a partir de ella pudo deducir la relación $E = mc^2$, la cual llegaría a ser la ecuación más famosa de la historia. Y entonces, mientras escribía un triunfante resumen explicativo de sus nuevas ideas, se percató de una pieza que no encajaba con el resto. Esta pieza rebelde era la gravedad.

La gravedad había sido descrita en forma precisa durante siglos gracias a Isaac Newton. Las geniales ideas newtonianas explicaban y predecían cómo funcionaba el universo conocido en la época. Por ejemplo, las ecuaciones de Newton indican con altísima precisión desde cómo debía caer una manzana¹ hasta los movimientos de los mundos a través del espacio. Las órbitas de los cometas, la Luna, la Tierra y los planetas son todos descritos con una sola ecuación poderosa. El universo conocido parecía comportarse como un gigantesco mecanismo de relojería gobernado a la perfección por las leyes de Newton.

La pieza clave de las ideas de Newton es la gravedad, una fuerza misteriosa y aparentemente instantánea que atrae todas las masas del universo entre sí. Esta fuerza curva el movimiento de los objetos que lanzamos y el de la Luna en torno a la Tierra. Así se crea la trayectoria curva de una pelota en el aire y las órbitas curvas de la Luna y los planetas. Sin una fuerza, todo debería moverse en líneas rectas e inalterables a través del espacio.

Newton no sabía de qué estaban hechos esta fuerza de gravedad y el espacio que hacía de telón de fondo para el

1. Newton afirmó que la inspiración para sus ideas surgió al observar la caída de una manzana en un momento de intensa concentración. Si la dichosa manzana cayó o no en su cabeza es algo que nunca sabremos.

movimiento de la materia, pero no le importaba. Sus ecuaciones describen el funcionamiento del sistema solar con tanta precisión que incluso hoy las usamos para enviar nuestras naves espaciales a otros mundos.

Con la gravedad, Einstein se encontraba en medio de un dilema, pues ya no podía seguir trabajando con algo que no comprendía. Sin importar cuánto se esforzase, la fuerza de gravedad de Newton moviéndose instantáneamente a través del espacio era completamente incompatible con la idea del espaciotiempo. La conclusión era preocupante: una de las dos, las leyes de Newton o su querida relatividad especial (o ambas) eran de alguna forma erróneas.

Cualquier otro se habría enfocado en los triunfos y habría minimizado aquellos detalles que parecen inconsistentes. Pero no Albert.

Él se obsesionó tratando de resolver este enigma, la gravedad. Cuando pensaba que lo había resuelto, se percataba de que había caído en un error, una y otra vez. Arruinó su vida familiar y personal, pero la curiosidad era irresistible. Alguna vez describió su tenacidad de la siguiente forma: “Pienso y pienso. Durante meses. Durante años. Noventa y nueve veces, me equivoco. Pero la centésima vez, estoy en lo correcto”².

Para entender la gravedad, Einstein estuvo tratando y fallando durante una década entera de estudios frenéticos, ideas brillantes y errores absurdos. El universo no había dejado ninguna pista, así que solo era su mente frente al misterio. En noviembre de 1915 estaba enfermo y al borde del colapso: uno de los matemáticos más grandes de la historia, David Hilbert, estaba pisándole los talones en la resolución del enigma. Y entonces, cuando estaba a punto

2. Haig Gordon Garbedian, *Albert Einstein: Maker of Universes*, Funk & Wagnalls Company, 1939.

de desfallecer, el sacrificio de años de trabajo apasionado se vio recompensado.

La respuesta al enigma es un “explotacerebros” inimaginable. La gravedad no es una fuerza como las demás de la naturaleza. A diferencia de la luz, la gravedad no es algo que viaje sobre el espacio y el tiempo. Es otra cosa.

La gravedad es el espaciotiempo mismo.

Hasta ese entonces, habíamos pensado en el espaciotiempo como una estructura rígida e imperceptible. La clave estaba en tener la osadía de pensar en el espaciotiempo como un “algo” real, una entidad física capaz de curvarse, ondularse y doblarse. De esta forma, los movimientos curvos de la materia bajo la influencia de la gravedad no son el resultado de una fuerza. La materia se mueve en trayectorias curvas porque el espacio y el tiempo son curvos. Es como tratar de ir en línea recta desde Puerto Montt hasta Arica. Aunque salga de la carretera y vaya sobre el mar intentando seguir una recta, mi camino será curvo porque la Tierra es curva. Para los cuerpos en el espacio es similar, pues están obligados a moverse en trayectorias tan rectas como pueden en un espaciotiempo curvo. Esa es la primera parte de la respuesta encontrada por Einstein. La segunda parte es que, en un acto de justicia cósmica, son la materia y la energía las que deforman el espaciotiempo. La imagen pictórica usual es la de una tela elástica que se curva bajo el peso de la materia, pero esa es solo una aproximación muy burda. El efecto real es comprensible, pero inimaginable. De hecho, la curvatura más importante en nuestra vida cotidiana es la curvatura del tiempo. No intentaré crear ejemplos de camas elásticas para explicar algo tan inusual.

La idea es difícil de comprender, pero fue resumida en solo una frase por uno de los grandes físicos del s. xx, John

A. Wheeler: “El espaciotiempo le dice a la materia cómo moverse; la materia le dice al espaciotiempo cómo curvarse”³.

Pero Einstein encontró mucho más que la descripción cualitativa que acabo de dar. Con su mente extraordinaria descubrió las ecuaciones que describen en forma precisa cómo se curva el espaciotiempo cuatridimensional bajo la influencia de la materia y la energía. Las llamamos ecuaciones de campo de la teoría general de la relatividad de Einstein:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

Quizás para el lector solo sean letras indescifrables. No intentaré explicarlas. Lo importante es saber que las matemáticas condensadas en esta cadena de símbolos son de una creatividad, belleza y elegancia cercanas al milagro. Estamos hablando de auténtica poesía matemática. En estas ecuaciones está la clave para comprender desde el principio del tiempo hasta la muerte de estrellas colosales. Es una obra maestra de la misma categoría que *La Mona Lisa*, la *Pietà*, el *Quijote* o *Hamlet*. Es un orgullo para la raza humana.

Las ecuaciones de Einstein resultaron ser tan complejas que él mismo sospechó que sería imposible resolverlas en forma exacta. Quien se enfrentaría a lo imposible estaba a miles de kilómetros de distancia con el barro hasta las rodillas esquivando balas en una trinchera.

Se trataba del físico Karl Schwarzschild. En 1915, mientras Einstein descifraba la naturaleza del espacio y el tiempo, Europa se encontraba sumida en el horror de la Primera Guerra Mundial. Uno de los soldados en esa guerra era Karl. Cuando estaba en el frente se enteró del trabajo de

3. Charles W. Misner, Kip S. Thorne, y John A. Wheeler, *Gravitation*, W. H. Freeman and Company, 1973.

Einstein y consiguió permiso de sus superiores para viajar a Berlín a la presentación de Albert de la teoría general de la relatividad. Quedó atónito y lo que vio caló hondo en él. Karl ya había intuido años antes la posibilidad de un espacio curvo, pero había sido incapaz de encontrar las ecuaciones que lo describieran. Estaba lleno de entusiasmo, pero se vio obligado a volver de inmediato al frente de batalla sin siquiera tener la oportunidad de conversar con Einstein.

Lo que había visto se grabó tan profundamente en él que, pese a la violencia de la guerra, su mente se lanzó a desentrañar la geometría del universo.

Imagine la sorpresa de Einstein cuando, menos de un par de meses después de encontrar sus ecuaciones, recibe una carta desde el frente ruso. Luego de un desarrollo matemático genial, la carta acababa con estas palabras: “Como puede ver, la guerra ha sido lo suficientemente amable conmigo. A pesar de los fuertes tiroteos, he podido alejarme de todo y caminar en el mundo de sus ideas”⁴.

Schwarzschild hacía en su carta lo que Einstein creía imposible: encontró una solución exacta a sus ecuaciones de campo.

Fue una fortuna que Karl pudiese enviar esa carta. Él no lo sabía, pero estando en el frente sería atacado por una dolorosa enfermedad autoinmune. Después de meses de sufrimiento, su cuerpo acabaría entre los más de cuarenta millones de muertos durante esos años de guerra.

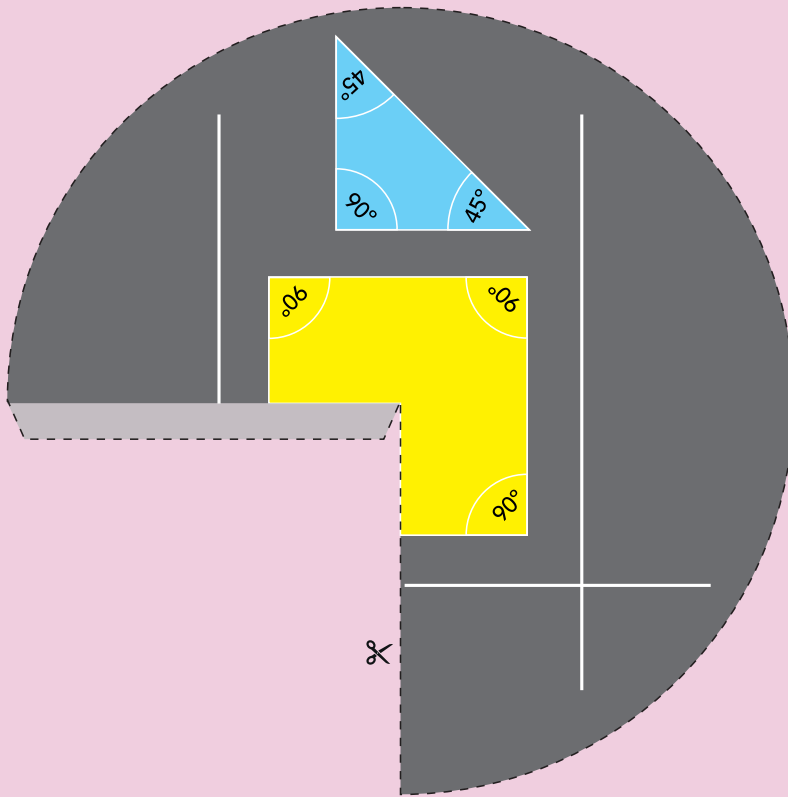
Nadie se dio cuenta al principio, pero en la solución de Schwarzschild había un monstruo escondido en la oscuridad. De sus cálculos con las ecuaciones de Einstein se desprende que cuando la materia se comprime hasta lo absurdo, la gravedad enloquece y todo se sale de control. Por ejemplo,

4. Robert Schulmann, A. J. Kox, Michel Janssen, y József Illy, *The Collected Papers of Albert Einstein*, vol.8a, doc.#169, Princeton University Press, 1998.

al comprimir toda la masa de la Tierra hasta el tamaño de un maní, la curvatura del espaciotiempo se vuelve tan intensa que nada puede escapar de ella; la materia cae en forma inevitable hacia dentro. Nace una región implacable y oscura de la que ni la luz puede escapar: un agujero esférico en el espacio.

Una vez que esto se hizo evidente, Einstein creyó en un comienzo que la predicción de sus propias ecuaciones era tan extravagante que no podía ser cierta. Debía haber algún mecanismo en la naturaleza que impidiese que naciera un monstruo tan feroz y oscuro como este.

Albert estaba equivocado. El monstruo existe.

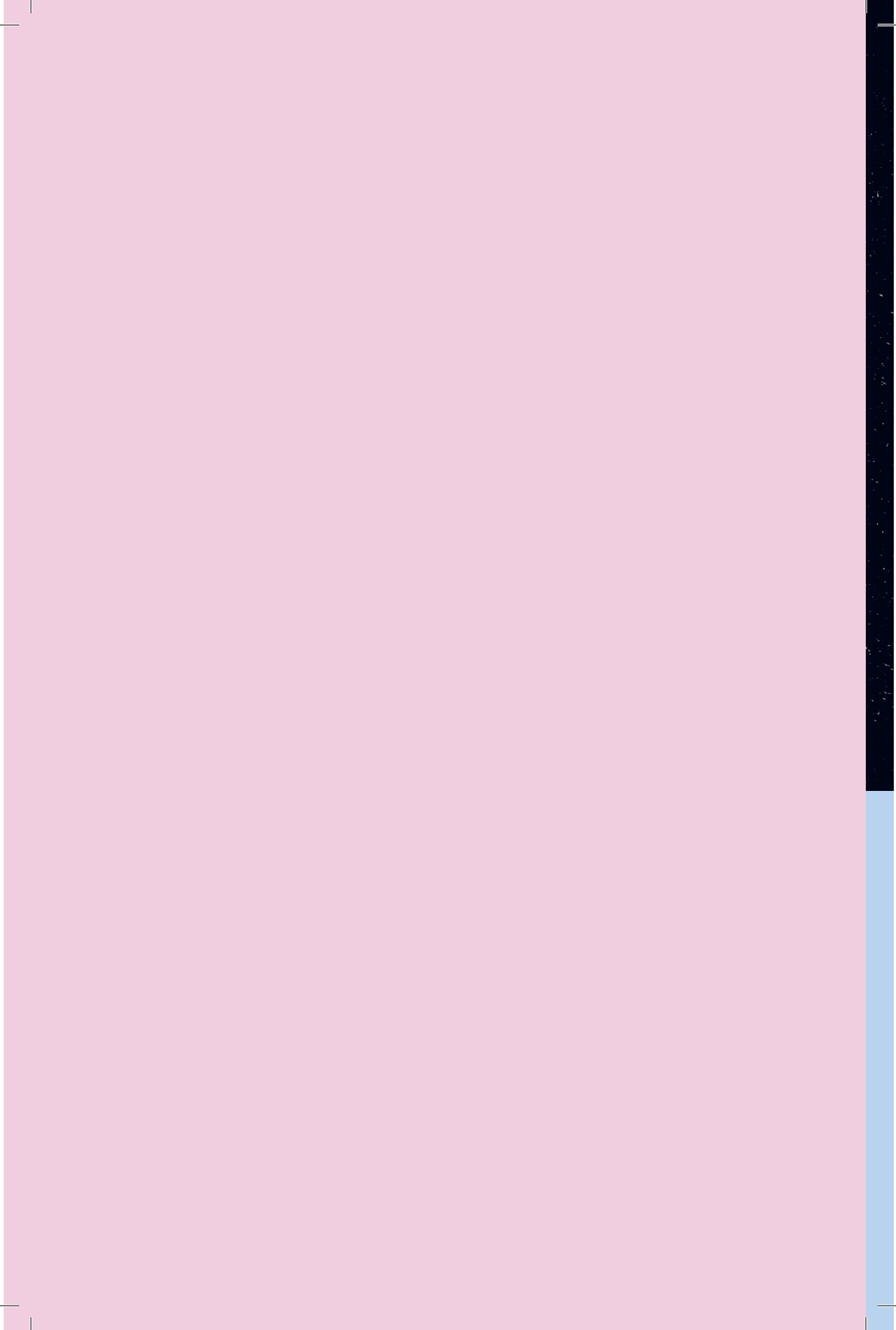


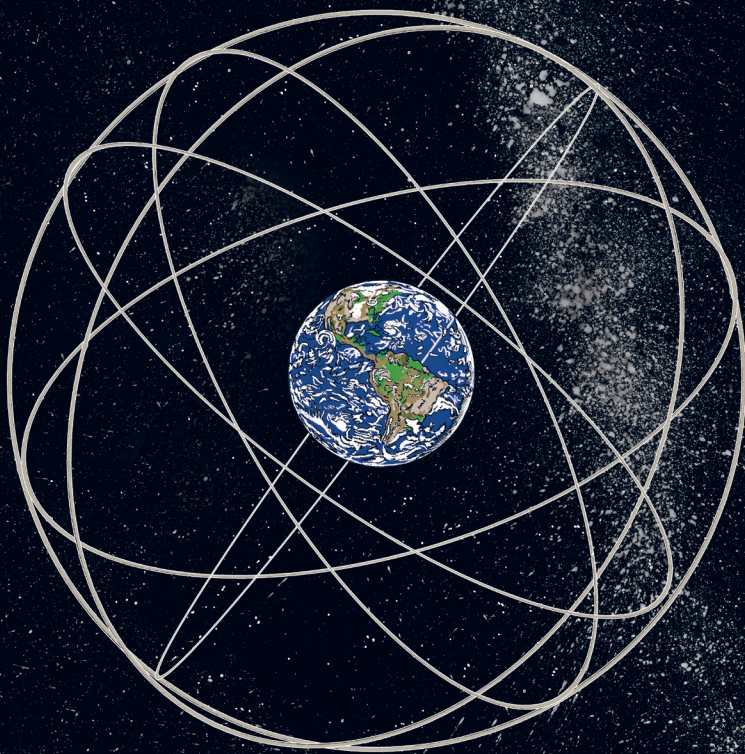
Un cono es plano en todas partes, excepto en su ápice. En ese lugar tiene concentrada toda su curvatura, la cual se vuelve infinita. Decimos que el cono posee una singularidad de curvatura en ese punto. Fuera del ápice se cumplen las reglas de la geometría euclídea de toda la vida. Por ejemplo, los ángulos interiores de un triángulo suman 180° y líneas paralelas nunca se interceptan.

En cambio, cuando hacemos un triángulo que incluye el ápice nos encontramos con una de las rarezas de la geometría de espacios curvos. Recorte esta figura a lo largo de la línea punteada y pegue el cono. ¿Cuánto suman los ángulos internos del triángulo amarillo? ¿Qué sucede con las líneas paralelas blancas una vez que pasan el ápice?

Visto desde fuera y en dos dimensiones no parece tan difícil. Pero saber cuán curvo es el espaciotiempo cuadridimensional en el cual usted está inmerso puede resultar bastante más complicado. ¿Se le ocurre cómo hacerlo?

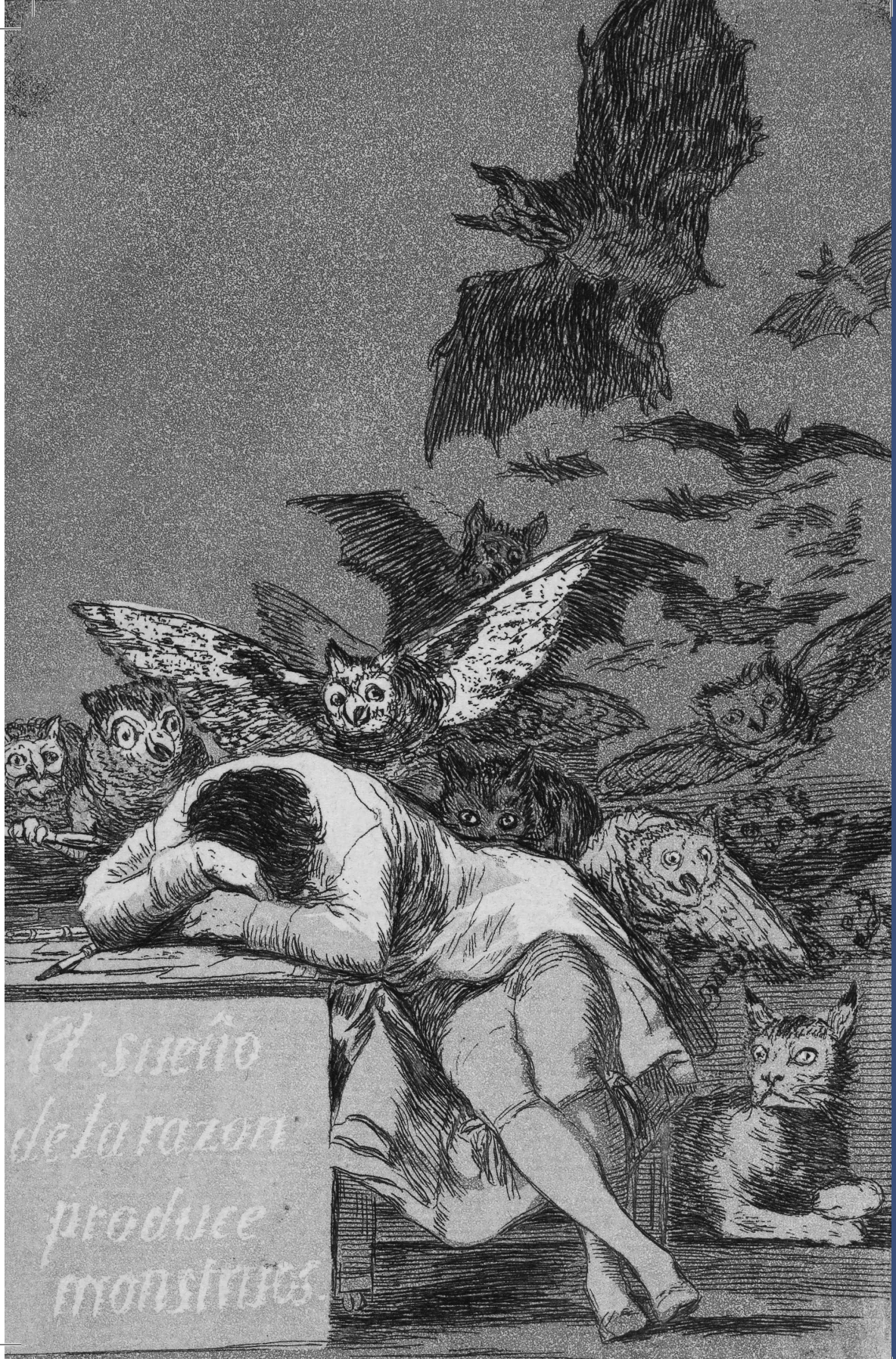






El GPS de su celular funciona correctamente solo gracias a la teoría general de la relatividad de Einstein. Para ubicarse correctamente sobre la Tierra, usted necesita saber la posición precisa de al menos cuatro satélites del Sistema de Posicionamiento Global en un instante de tiempo exacto. Para ello, los satélites del Sistema de Posicionamiento Global llevan relojes atómicos de altísima precisión. El problema es que se encuentran en órbita a más de veinte mil kilómetros de altura, y la curvatura espaciotemporal sobre la superficie terrestre es ligeramente superior a la que existe en órbita. En otras palabras, el tiempo para usted transcurre ligeramente más lento que en los satélites. El desfase temporal predicho por la teoría de Einstein entre nosotros y los satélites es de treinta y ocho microsegundos por día. Suena a muy poco, pero si no se compensa exactamente este efecto de curvatura temporal en el sistema de GPS, usted acabaría a kilómetros de donde desea llegar.

La curvatura del tiempo está más cercana de lo que usted sospecha. Cuando usted está de pie, sus pies envejecen ligeramente más lento que sus orejas.



El sueño
de la razón
produce
monstruos.