

De satanes y satélites: antecedentes de la teledetección

José Prieto, EUMETSAT
prieto@eumetsat.de

¿Tele de qué? Ja de jé

Este artículo es un resumen de los antecedentes de la teledetección, ese viejo empeño humano por enterarse de cosas sin que se note. Ilustres pensadores y comentarios más o menos a cuento se entrelazan en esta introducción informal a la ciencia que sostiene los satélites.

Habitualmente medir significa meterse con algo para averiguar sus propiedades. Medir es una intromisión legal en la propiedad ajena. Un termómetro o un barómetro no sólo están inmersos en un medio, también están en equilibrio con él. Este equilibrio es importante para dar dureza y duración a los valores obtenidos. De ese acuerdo estable entre instrumento y medio resulta una medida, de temperatura o presión. Dicen algunos que el termómetro mide su propia temperatura, que es también la del medio, por haber equilibrio.

Para otras magnitudes, como el brillo de una estrella, la medida tiene que ser remota, por razón de nuestro confinamiento terrestre. Tal es el caso también del calor que irradia la tierra hacia fuera, donde un sensor de satélite recoge una pequeña muestra. En estos casos se habla de detección a distancia o teledetección. Tales medidas requieren de un mensajero de pies alados, casi siempre la radiación electromagnética. Sorprendentemente, el mensaje para un satélite es el propio mensajero, o el número de mensajeros, que podemos identificar con fotones o cuantos de radiación. Si llegan mensajeros al detector o sensor, el mensaje es que hay calor en la fuente. Si llegan muchos mensajeros, el mensaje es que la fuente está muy caliente. No es obvio por qué, y la clave para entenderlo no se encontró hasta finales del siglo XIX. Aquel hallazgo formidable que liga lo radiado y la temperatura de la fuente de radiación fue debido a sesudos hombres de ciencia casi siempre centroeuropeos, pero otros muchos prepararon el camino.

La radiación, con ser la clave de nuestro conocimiento de la atmósfera desde las alturas, no proporciona una descripción completa de los mecanismos de la atmósfera. Que la atmósfera se mueva y esté siempre cambiando es el resultado de que el sol la caliente. Ese calor se propaga o contagia por variados mecanismos que incluyen la mezcla de masas de aire, o convección. Sin ella no hay equilibrio térmico, ni modelos matemáticos que describan las evoluciones del aire. Los satélites no ven la convección, y esa sigue siendo la principal limitación de sus observaciones. Pero ahora hablemos de los principios.

Soñadores sin papeles

Anaxágoras fue el más antiguo precursor de la meteorología satelitaria que ahora recuerde. Hace veinticinco siglos este jonio fue el primero en predicar filosofía, que así se llamaba entonces a la ciencia, en la ciudad y estado de Atenas. Contaba ideas a su amigo Pericles, quien, a la vez que le escuchaba sin entender gran cosa, aprendía habilidades retóricas de gran utilidad en la política. Cuando el poder de Pericles declinaba, sus oponentes se apresuraron a hacer leña del árbol cadente y la tomaron con Anaxágoras y otros de su cuerda por hablar de "cosas de lo alto" sin respeto hacia los dioses. Le imputaron decir bobadas como que el sol era una piedra al rojo vivo o que la luna estaba hecha de Tierra. La misma acusación que oyera Sócrates más tarde, si bien éste se reía llamando repitones a sus acusadores. El viejo Pericles consiguió que Anaxágoras escapara a Jonia, donde fundó una escuela.



F1. Anaxágoras departiendo con Pericles

Nieve negra

Allí enseñaba Anaxágoras que la materia se puede dividir indefinidamente, al contrario que los tatarabuelos del átomo Leucipo y Demócrito, y que cualquier sustancia es mezcla con un poco de todo, aunque tenga un componente predominante: la nieve blanca tiene algo de negro. Hoy diríamos que es cuerpo negro en el dominio infrarrojo. También era avanzado Anaxágoras en suponer que la mente, la sustancia de la vida "que causa rotación", era común a animales y personas. Sólo que las personas tienen manos, y son por ello superiores. Su contribución al saber fue amplia: el brillo de la luna es luz reflejada del sol, la luna está bajo el sol, o sea, más cerca de la Tierra, sol y estrellas son piedras ardientes, pero no sentimos calor de las estrellas por estar tan lejos. Explicó los eclipses y afirmó con osadía que el sol es una roca al rojo más grande que todo el Peloponeso. La luna tendría montañas y, al menos en aquel tiempo, habitantes. En conjunto, Anaxágoras nos merece mejor nota que las predicciones astrológicas de cualquier tiempo. Su idea de que la vida es causa de lo físico puede ser discutida, pero es irrefutable por la ciencia, pues nadie sabe de algo que ocurra en ausencia de conciencia, si me permiten la perogrullada.

Lo esencial para nosotros es la noción de calor procedente del sol, que era evidente para este jonio. Que el sol da calor parecen haberlo entendido los hombres prehistóricos. Que el calor del sol nos llegue en su luz ya es otro asunto, y quizá algún lector lo duda. Pensar que la luz se genera en una combustión es más nuevo. Y Anaxágoras ya lo entendió así. De acuerdo con cálculos modernos, un horno ha de estar a seis mil grados para que lo veamos tan brillante como vemos el sol. Parece evidente que el ojo ha ido especializándose en radiación solar, la más abundante e informativa de nuestro entorno. El filamento de una bombilla anda por los mil grados de temperatura y el espectro de su radiación mete la nariz en el campo visible, pues las bombillas están hechas para que veamos. Pero no menos abarca ese espectro lo infrarrojo, que es calor, como es obvio a quien toca su casquillo mientras lucen.

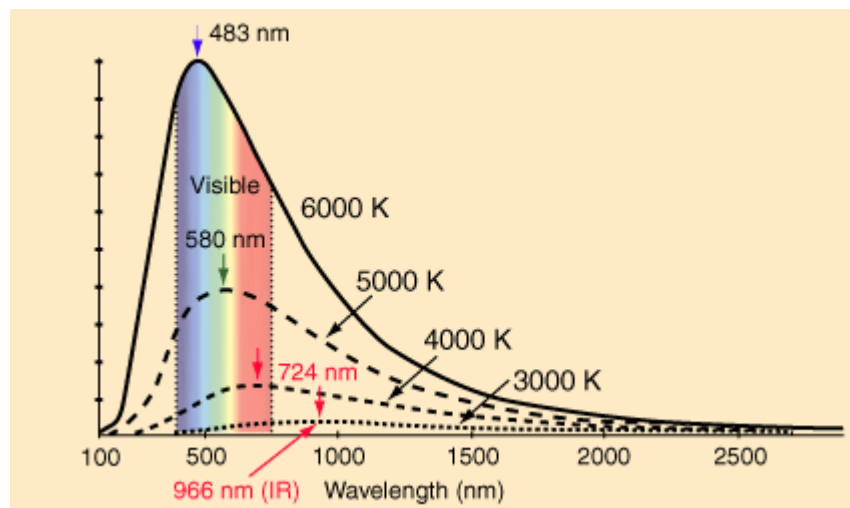
Viene Wien

Guillermo Wien, un físico no vienés, enunció al respecto en el siglo XIX la ley del desplazamiento para la radiación: cuando calentamos un cuerpo, lo máximo de su radiación se da a mayores frecuencias. Por ejemplo, la tierra, a unos 290 grados Kelvin, sólo da calor. Un filamento a 1000 Kelvin, luz y calor. Y el sol, a 6000 Kelvin, sólo luz. Bueno, y un 1% de calor aún.



F2. Wilhelm Wien en persona

Remontémonos a finales del siglo XVI. Johannes Kepler es precursor de las imágenes de satélite en dos sentidos: primero, escribió las tres leyes del cielo y puso a nuestra disposición las órbitas. Segundo, inventó el telescopio astronómico. Fue él quien acuñó la palabra satélite, sirviendo, para referirla a las lunas de Júpiter descubiertas por Galileo. De ahí a Meteosat sólo quedaba un paso. Nacido en el Sacro Imperio, hoy Alemania, en 1571 de soldado mercenario y posadera, Johannes se interesó por el plan matemático de Dios cuando creó el universo. Matemáticas eran entonces también la música y la astronomía, igual que los procedimientos ptolemaicos para combinar movimientos circulares y predecir la posición de los planetas. Profundamente religioso, veía tan intrigante la relación entre materia y espíritu en la eucaristía como la que debía haber entre planetas y fuerza solar según el plan del Creador. Kepler, quien aspiraba a ordenarse en Tubinga, fue desaconsejado de seguir ese camino, y más tarde excomulgado por publicar esas ideas, astronómicamente alejadas de la ortodoxia.



F3. Ley del desplazamiento de Wien: a más frío más larga

Harto de llenar el sistema solar de poliedros y esferas para explicar las distancias entre planetas, la emprendió con el problema de la órbita de Marte, que también había ocupado a Tycho Brahe en su calidad de matemático imperial. Su "guerra con Marte", unos mil folios de cálculos, se saldó con dos leyes: el Sol estaba en un foco de la elipse que describía Marte en torno al sol, y el área barrida por el eje sol-marte era proporcional al tiempo, o sea, el área funcionaba como un reloj. De paso, siguiendo a Tycho, introdujo la idea de error de observación, un límite de aceptabilidad de resultados en los esfuerzos manuales por calcular órbitas. En tiempos sin ordenador, un ahorro de muchos años de trabajo.

Harmonices mundi

Su tercera ley, la de proporciones sesquiálteras, con perdón, entre periodos y distancias, le vino como inspiración divina, pero racional, y en ella reconoce la fuerte influencia de las ideas de Tycho Brahe. Por ejemplo, si Meteosat da una vuelta por día a la Tierra, y la luna tarda 29,5 días en la misma vuelta, entonces es que está nueve y pico veces más alta en el cielo (nueve y pico veces la raíz de nueve y pico es 29,5). Kepler fue el primero en proponer que la retina recoge imágenes invertidas de los objetos, y creó su propio diseño de telescopio. Casado en segundas nupcias por la necesidad de que alguien atendiera a sus hijos, dejó claras sus intenciones matrimoniales calculando volúmenes de tinajas de vino con una vara durante la segunda boda. Los resultados de tal análisis quedan en escritos en Nova stereometria doliorum, como lección para otros contrayentes de conveniencia, más aficionados a la bebida que a sus señoras o señores.

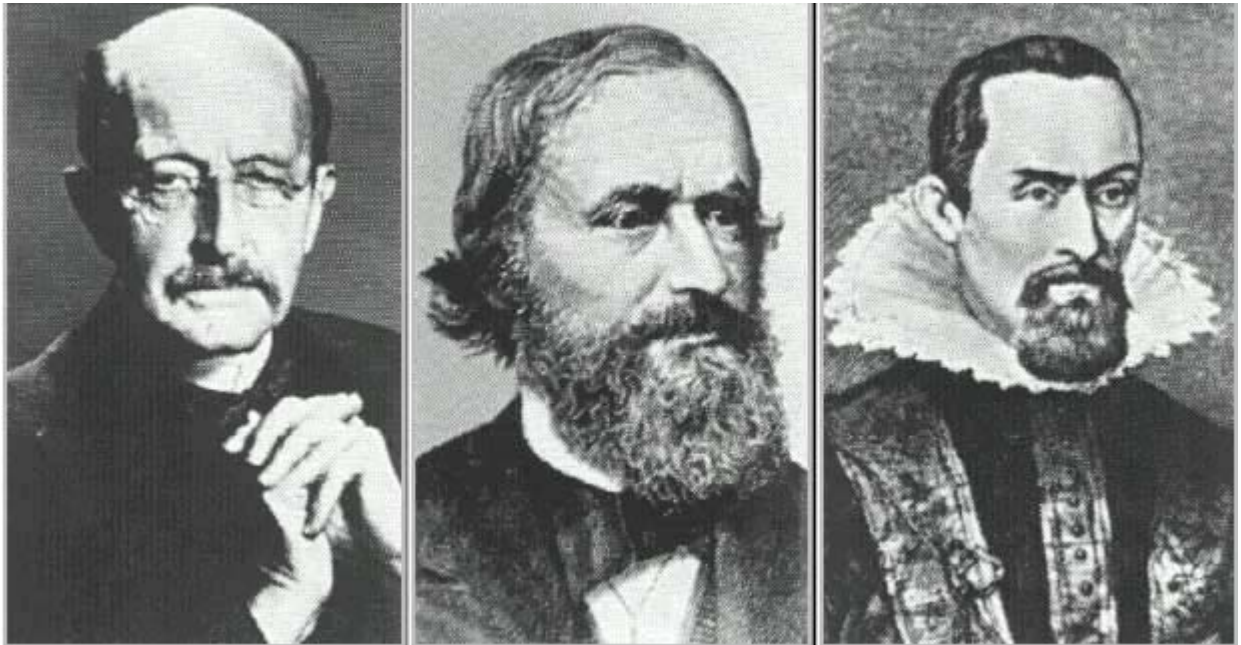
Un último latín, la lengua en que se educó, para su autoepitafio:

Mensus eram coelos, Terrae metior umbras.

Mens coelestis erat, corporis umbra iacet.

(Como medía los cielos, mide las sombras de la tierra.

La mente fue para el cielo, de los cuerpos yace su sombra)



F4. Planck, Kirchhoff y Kepler: trío de ases

Pi y Luz

Tras Kepler, el precursor más directo de la meteorología satelitaria, el patio del saber atmosférico permaneció tranquilo hasta que unos cuantos físicos de la Ilustración se interesaron por la luz. Jonathan Lambert era un colega de Euler y Lagrange en la Academia de Ciencias de Berlín. Más conocido que por sus estudios sobre la luz y el calor, en que llegó a resultados equivalentes a los de Bougher, Lambert fue el primero en demostrar que el número pi es irracional. Y es que la ciencia física no reconoce límites con la matemática. Curiosamente, Anaxágoras se había preguntado en la cárcel de Atenas sobre la cuadratura del círculo, en histórica coincidencia, al menos desde nuestra perspectiva.



F5. Modelo de cuerpo negro a unos 310 grados Kelvin

Pierre Bouguer, catedrático real de hidrografía en la Academia de ciencias francesa a la temprana edad de quince años, hacia 1730, era uno de esos niños prodigio ganador de cualquier premio a que concurría. Pocos años más tarde marchó a Perú a medir el grado de meridiano cerca del ecuador. Como medir un grado le sabía a poco, quiso medir la densidad de la tierra con una plomada, conjeturando que unas montañas vecinas la estaban desviando de la vertical. Luego, sin apenas marearse, también calculó el radio metacéntrico de estabilidad de su barco en la travesía de regreso, para tranquilidad del pasaje. Pero su principal afición era la fotometría. Comparó el brillo de la luna con el de una vela y midió así el brillo real de la primera. Su ley de Bouguer confirma que la porción de luz absorbida por cada metro atravesado no depende de la intensidad que le alcanza. Por ejemplo, el ozono de la atmósfera nos protege absorbiendo rayos ultravioleta del sol. Si ahondamos el agujero en la capa de ozono, incrementamos la cantidad de radiación dañina que alcanza la superficie. Tal incremento es exponencial, esto es, muy desproporcionado. De ahí que haya que darse prisa en eliminar los causantes del desaguizado estratosférico.

Sucesos raros

Siméon-Denis Poisson (1781-1840) vivió la insurrección de los burgueses como niño, la cual benefició la posición social de sus padres. Tras un fallido intento de aprender medicina, se decidió por las matemáticas (pronúnciese "física", ya que los problemas matemáticos surgían de tratar de comprender la realidad) . Reemplazó a Fourier en su cátedra de la Escuela Politécnica. Allí se ganó el favor de la administración de Napoleón cuando disuadió a los estudiantes de manifestarse contra la idea de Grand Empire. Le gustaba trabajar, uno tras otro, en problemas inconclusos en áreas diversas del saber que iba anotando en una libreta cuando oía hablar de ellos. Así se ocupó de las perturbaciones de los planetas, por medio de series y aproximaciones sucesivas, o de la forma de la tierra, que demostró ser achatada por los polos, como habían conjeturado Huygens y Newton. Este espíritu de moderno consultor matemático irritó a Fourier cuando Poisson se ocupó del problema de la propagación del calor: "Que use su talento para descubrir lo que ya es sabido es un derroche". En sus memorias, Fourier se corrigió y reconoció el valor de tal estudio, que influyó en Sadi Carnot y fundamentó la teoría de los ciclos termodinámicos, usados en meteorología en relación con la estabilidad vertical. En 1837 se ocupó de los sucesos raros, de pequeña probabilidad pero que ocurren alguna vez por ser las ocasiones muchas, como el número de cántaros rotos en una fuente. También acuñó y acuñó la expresión "ley de los grandes números", mal acogida en Francia, pero más tarde desarrollada en Rusia por Chebyshev.

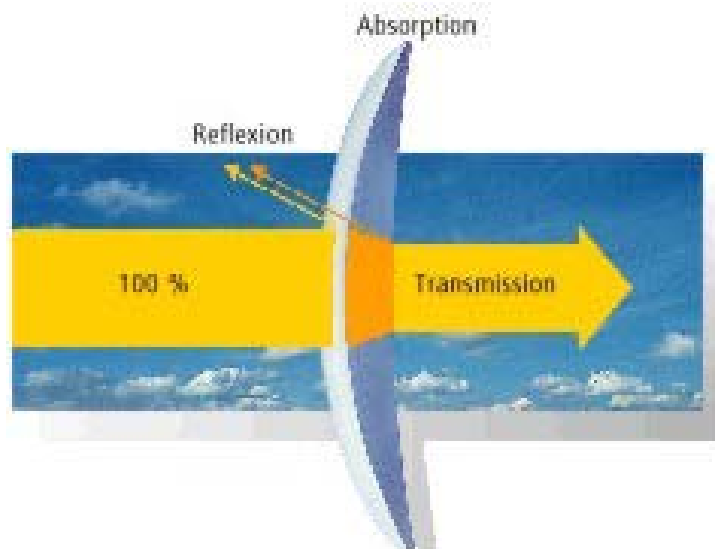


F6. Poisson, el consultor matemático

Azar borracho y azar sobrio

Si mencionamos π en relación con Anaxágoras y Lambert, le llega al turno al número $e=2.718..$, base neperiana, que también es irracional y trascendente. Lo haremos con el ejemplo de radiación que atraviesa, con más o menos merma, una capa de gas absorbente. El espesor óptico de un medio es las veces que un fotón irreductible será atrapado al cruzar el medio. Un espesor óptico unidad sólo deja que una fracción $1/e$, o sea, un 37% de lo incidente alcance el otro lado de la capa sin haber sido absorbido. Un doble obstáculo, de espesor óptico igual a dos unidades, sólo deja pasar $1/(e*e)$, un 14% escaso de lo incidente. Hay que admitir que suenan raras tales unidades de espesor. La mayor parte de la radiación de entrada es absorbida en el primer trecho, en la primera unidad de espesor. Para trechos sucesivos queda menos que absorber.

Eso significa que la cola de la distribución de distancias recorridas por los fotones ha de ser más pesada y su centro más picudo y delgado que en la distribución gaussiana, en la que hay más factores de desorden que el puro azar de colisiones entre átomo y fotón. El azar puro, similar al caminar errático del borracho, resulta en una distribución de Poisson, picuda, la misma de las subidas y bajadas del mercado bursátil. Es la distribución de lo que carece de mecanismo. La distribución normal o de Gauss por el contrario refleja fenómenos de más enjundia, con más factores de variación, como la talla de las personas, que depende de los genes y de la leche bebida en la infancia, según mi abuela. Queda explicado por qué Bougher y Lambert vivieron antes que Gauss. Vamos con éste último.



F7. Transmisión y absorción. El elemento reflexivo no es importante en el dominio infrarrojo, el calor no piensa

Un príncipe normal

Carl Friedrich Gauss (1777-1855) es tenido por príncipe de los matemáticos. Hijo de padres pobres, éstos le encomendaron al duque de Brunswick para que hiciera uso de su talento en "la reina de las ciencias", a su entender la aritmética. Era también buen geómetra y entendió que la curvatura de las superficies se puede medir inmerso en ellas, de modo que hoy sabemos que estamos en un universo curvo en expansión sin necesidad de salirnos de él. Encontró la forma de rebatir el postulado de las paralelas de Euclides y domó los polígonos, haciéndolos entrar en un aro a golpes de regla y compás. Decepcionó un poco en su teoría de potenciales, tan fundamental en sostener satélites en lo alto, pero regaló a la ciencia meteorológica el método de los mínimos cuadrados, que es la base de la asimilación de datos por modelos numéricos de la atmósfera.

A despecho de la entropía

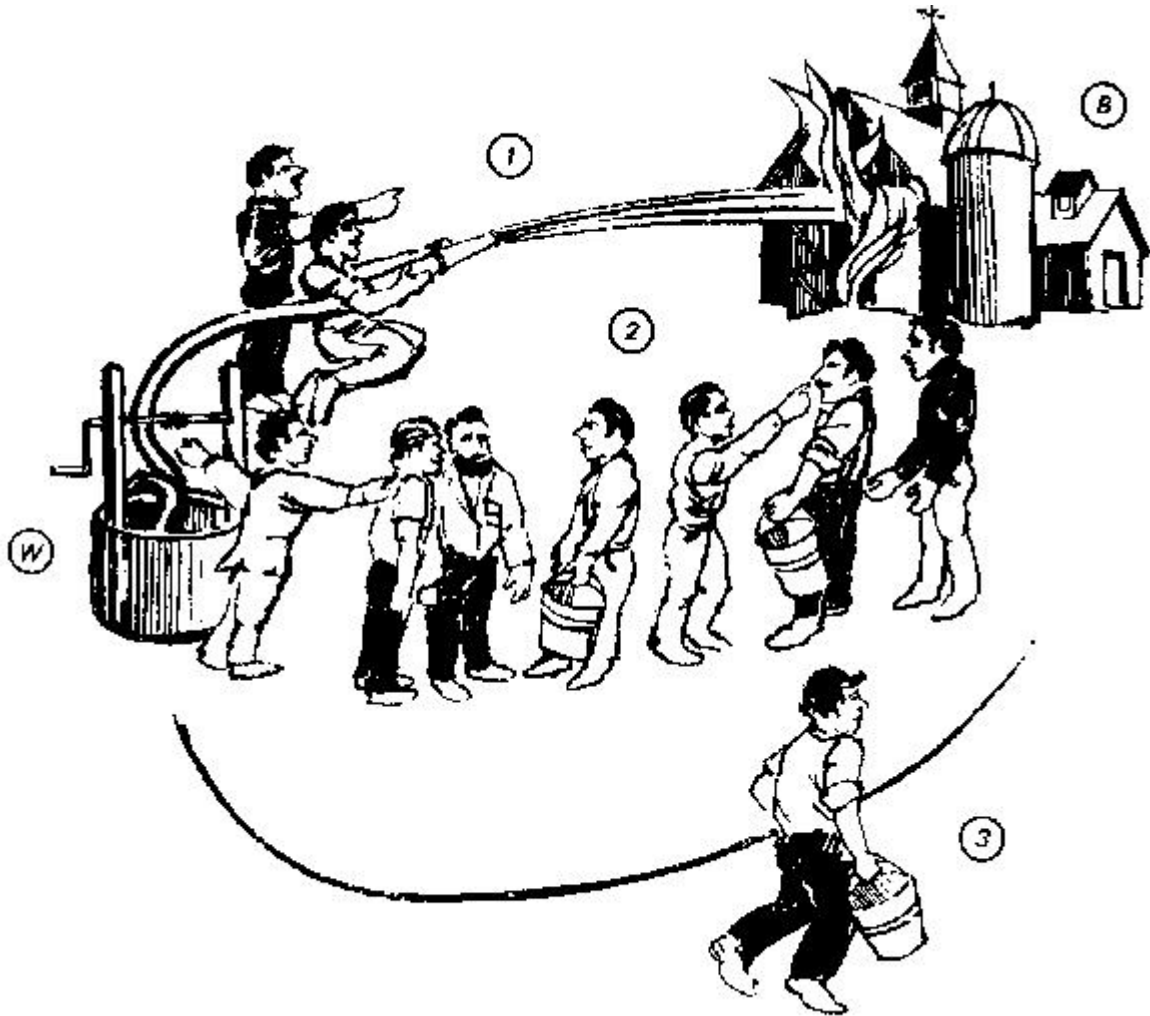
Ludwig Boltzmann (1844-1906), vienes de personalidad proclive a euforias y depresiones, fue alumno de Helmholtz, Kirchhoff y Stefan. Josef Stefan había llegado a la famosa ley de la cuarta potencia de la temperatura para la radiación observando ritmos de enfriamiento en diversos cuerpos. Ludwig llegó a la misma ley desde consideraciones estadísticas, o sea, a brazo partido, convirtiéndose en el primer mecánico estadístico de la historia. Dedujo también la segunda ley termodinámica desde postulados mecánicos, haciendo de la temperatura un mero adorno estadístico. Pero aún no se veía cómo un sistema mecánico, reversible en su evolución, podía armonizar con una entropía en constante aumento. Boltzmann pensaba que había excepciones de naturaleza estadística a ese aumento: "El bosque oculta los árboles para quien olvida los átomos en las ecuaciones diferenciales", decía. Obsesionado con las enemistades de los colegas, el rechazo momentáneo de sus ideas le condujo a la depresión y al suicidio.

Menos adusto y más jovial de carácter fue John Strutt, tercer barón Rayleigh. Otro buen matemático, escribió sobre temas tan luminosos como el color de las flores para los insectos, el curso irregular de una pelota de tenis, el vuelo reposado del albatros y el problema de los susurros de un museo. Es más conocido por la primera explicación dispersiva del azul del cielo, que ofreció el año en que se casó. Tuberculoso, en un viaje de reposo por el Nilo se interesó por el sonido y publicó dos famosos estudios sobre ondas y solitones. También sugirió un método de fotografía en color y recibió un Nobel por el descubrimiento y aislamiento del argón. Usó conceptos de similaridad en fluidos, no extraños al moderno estudio del caos atmosférico. Según él, su único mérito fue haberse dado el gusto de estudiar física.

Ese cuerpo negro y caliente

Gustav Kirchhoff (1824-1887) nació entre la crema intelectual de Königsberg para servir a Prusia desde una cátedra. Antes de acabar sus estudios dió con las leyes para analizar circuitos eléctricos, delicia de cualquier adolescencia, no lo nieguen. Aunque análogas a las de flujo de calor, Gustav supo ver la diferencia y también separar los circuitos de la electrostática. Después de comprender que la velocidad de las señales en una red era próxima a la de la luz, no acertó a considerar la luz otra onda electro-magnética. Sí explicó las líneas oscuras del espectro solar como absorciones por gases de su corona.

Para nosotros introdujo el cuerpo negro, esa materia ideal que absorbe toda la radiación que le llega sin dejar ni la raspa. Para no hacer chirriar los principios de conservación, postuló que las frecuencias de absorción y emisión de los gases son iguales, lo que elimina una gravosa incógnita de las suficientemente liosas ecuaciones de transferencia radiativa.



F8. Formas de transmitir calor, presentado como agua: 1) radiación, 2) conducción, 3) convección (tomado de www.me.rochester.edu)

Líneas anchas

Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) fue holandés y postuló una teoría del electrón antes de descubrirse, cuyas oscilaciones crean la luz: otro gol matemático a la física. No creía en la física cuántica, pero su fórmula de dilatación temporal fue la base de la teoría especial de la relatividad. Encontró tal fórmula tratando de explicarse la inexistencia del éter, que daba problemas hasta enterrado. En nuestro campo, Lorentz ofreció una fórmula compacta para tratar con las líneas de absorción debidas a gases atmosféricos. De esa manera, es posible separar el espectro en picos y fondo, y simplificar las ecuaciones de transferencia considerablemente. La anchura de las líneas modeladas depende del número de choques entre moléculas, y éste de la presión y la temperatura.

En los bajos de la atmósfera, las líneas se ensanchan por la presión y proporcionan una coartada a las capas próximas a la superficie para hacerse notar en las imágenes desde satélite.



F9. Schwarzschild, experto en radiación, experimentando con un filtro de palabras

Sir James H Jeans nació y murió en Inglaterra (1877-1946). Su padre escribía crónicas parlamentarias y biografías de científicos, pero no le incluyó en ellas. En otro descuido del padre, este chaval de siete años se aprendió de memoria una tabla de logaritmos que rodaba por la casa. Hasta su vejez, James supo repetir los veinte primeros números de aquel empacho con siete cifras decimales. Se interesó por los mecanismos de la radiación y formuló una teoría dinámica de los gases. Se casó dos veces, primero con una poeta, luego con una música, también como él aficionada al órgano. Hubo Jeans de usar su mejor sabiduría acústica para diseñar su casa de modo a evitar interferencias y disonancias durante los ensayos. También estudió la forma piriforme en fluidos y concluyó que era inestable. Así dedujo un mecanismo de formación de estrellas dobles, pero bien pudo haberse erigido en descubridor de la gota fría, de haber aplicado la pera a nuestra atmósfera. Como otros, también vió en la pura matemática la argamasa y los ladrillos del universo.

El final de la física

La plétora de la ciencia termodinámica se alcanza a finales del siglo XIX. Todo iba sobre ruedas en Europa antes incluso del descubrimiento del automóvil, con la revolución industrial lanzada sobre la creciente confianza en los recientes avances de la mecánica y de la termodinámica, ya comentados. El cierre de la física se veía asomar por el horizonte. Casi parece que fuera hoy mismo. Sólo algún problemilla con el calor empañaba el cuadro triunfal. Por ejemplo, el hecho de que el calor emitido por un horno careciera de límite en las frecuencias altas. Cualquiera de nosotros quedaría destruido en aquella debacle ultravioleta. Planck vino a atar ese cabo suelto.

Cuántos cuantos

Max Planck fue la excepción científica en una familia de letras, de abogados y teólogos. En 1867 fue a la escuela en Munich, donde no lo hizo mal, pero tampoco sobresalió. A pesar de que la física se consideraba ya completa y no precisaba investigadores, a Planck le fascinaba que el mundo tuviera leyes independientes de la existencia del hombre en ella. Un objetivo idóneo para su mente. Su doctorado en la segunda ley de la termodinámica corroboraba sus firmes intenciones en arrancar tales secretos a la naturaleza. En un acto de desesperación, justo antes de concluir el siglo XIX, dio con la fórmula que sintetizaba la radiación de un cuerpo negro en cualquier frecuencia. Tal fórmula incluía las leyes de Rayleigh, para frecuencias pequeñas, y de Wien, para grandes, como aproximaciones. Un mero ejercicio matemático. El precio de tal síntesis fue tener que introducir una constante h que no consiguió despegar del enunciado final. Durante años se resistió a aceptar la realidad cuántica, e incluso criticó a Einstein por dar sentido físico a tal constante con su cuanto de luz. Sólo el efecto Compton en 1922 le convencería de su capital descubrimiento. Un ejercicio matemático que concluyó en concepción física. Otros, como Dirak, formularían y desarrollarían la nueva teoría, porque para entonces Planck estaba dedicado a la administración de la ciencia alemana.

Fue hombre de gran entereza moral, y se dirigió en su momento a Hitler, avalado por su prestigio en todo el mundo, para tratar de disuadirle de su vesánica política de exterminio racial. El infortunio, y el mismo Hitler, se encargaron de robarle a su primera mujer y a sus cuatro hijos. Un bombardeo destruyó también su casa. La muerte, su redención, le llegó al poco de concluir la segunda gran guerra.

La importancia de los calcetines

Aunque los satélites meteorológicos sólo recogen radiación, no todo el calor de la atmósfera se transmite como radiación de cuerpos más o menos calientes. Una buena parte del equilibrio térmico, siempre precario en el aire, se logra a través de la convección, es decir, el movimiento de mezcla entre masas de aire a distinta temperatura. Igualmente, el calor puede pasar entre cuerpos por conducción o contacto, como ocurre cuando caminamos descalzos sobre un suelo frío. El aire es mal conductor y lleva unas horas calentar tan siquiera las capas más bajas desde el suelo, por lo que este mecanismo es el que menos importa. Aún así, cuando deducimos temperaturas a partir de radiancias habrá que considerar que la temperatura superficial es la de una capa muy fina de suelo en contacto con el aire, pero no precisamente la del aire en torno, que puede ser distinta por uno o dos grados.

Así que el calor se transmite en la atmósfera principalmente por convección y radiación. Si hace frío en el campo buscamos una pared, que nos protege del viento y además es un radiador bastante más potente que el frío cielo. En una habitación, los radiadores no sólo radian, también conducen su calor y provocan mezcla espontánea en el aire alrededor. Sin convección tardaría en distribuirse el calor por toda la habitación. En cualquier caso, la parte convectiva de mezcla y movimiento de aire pasa desapercibida al satélite, y es la razón de fondo por que los satélites no son infalibles en la descripción del tiempo de verano, cuando tormentas e inestabilidad convectiva son el principal acontecimiento atmosférico. A pesar de esta limitación, y de otras de que trataremos en su momento, el rango de aplicaciones de las imágenes térmicas de la tierra cubre desde la pesca a la agricultura, de la industria eléctrica a la hidrológica, de la aviación a la sismología, y de la estratosfera a la capa límite.

Como esto ya sonará a repetido, llega el momento de cerrar el capítulo. Nos quedamos con la boca abierta tratando de descubrir en el cielo ese astro metálico de magnitud 13 llamado Meteosat, algo más débil que Neptuno, que tanto contribuye a nuestra certeza sobre la lluvia o sequedad de mañana.

Referencias

Mac Tutor History of Mathematics: Versión electrónica en <http://turnbull.dcs.st-and.ac.uk/~history/>

Satellite meteorology, an Introduction.
S. Q. Kidder, T.H.Vonder Haar. Academic Press,1995

ram@meteored.com