

Nubes y tormentas en Júpiter y Saturno: Observaciones y modelos

Ricardo Hueso Alonso
Dpto. Física Aplicada I
Universidad del País Vasco
wubhualr@lg.ehu.es

NOTA PRELIMINAR: El presente artículo es la versión escrita de la ponencia que impartió el autor en el II Curso de Ciencias Planetarias, celebrado en Salamanca entre los días 24 y 27 de marzo de 2004.

Se han concedido muchos premios Nobel por mostrar
que el universo no es tan simple como podíamos haberlo pensado
Stephen Hawking

Las atmósferas de los planetas gigantes Júpiter y Saturno están dominadas por fenómenos meteorológicos propios muy diferentes a los que se observan en un planeta como la Tierra. Las diferencias más notables con la atmósfera terrestre son: su gran tamaño, unas 10 veces mayor que la Tierra, su rápida rotación (10 horas), la ausencia de superficie con la que la atmósfera se pueda frenar y su composición atmosférica. Ambos son inmensas bolas de hidrógeno y helio, gases ligeros en los que los gases que condensan formando nubes son mucho más pesados. Los dos se encuentran alejados del Sol, a 5 y 10 veces la distancia que separa la Tierra del Sol, por lo que sus atmósferas son mucho más frías.

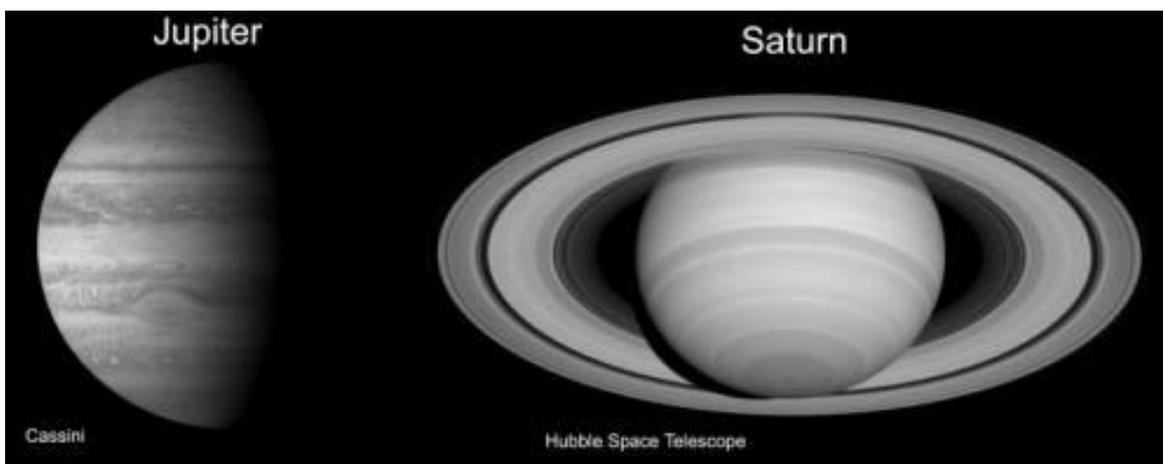


Figura1: *Aspecto visual a escala de las atmósferas de Júpiter y Saturno. En la imagen de Júpiter podemos ver el marcado patrón de bandas y zonas alternantes en latitud a la par que numerosos fenómenos meteorológicos, como la Gran Mancha Roja, grandes óvalos blancos por debajo de ella, regiones turbulentas y regiones de grandes tormentas convectivas. En contraste, casi no se aprecian detalles en la imagen de Saturno dominada por el contraste visual de las bandas y zonas. Cassini Imaging Team y HST.*

En Júpiter, las temperaturas al nivel de las nubes superiores donde se observan la mayor parte de los fenómenos meteorológicos son de unos 120 °C bajo cero y en Saturno caen hasta los 150 °C bajo cero en niveles equivalentes de presión. Estas temperaturas serían aún más bajas de no ser porque ambos planetas conservan una parte importante del calor acumulado en su formación. Este calor, almacenado en las capas profundas, se libera lentamente en las capas altas atmosféricas como radiación infrarroja y en ambos casos se observa que tanto Júpiter como Saturno emiten un 60% más de energía que la que absorben del Sol.

Considerando la extensión vertical de las atmósferas de Júpiter y Saturno, las nubes que se forman se limitan a una estrecha capa de unos pocos centenares de kilómetros de las capas superiores. En las capas altas (100 mb, una décima parte de la presión terrestre al nivel del mar) se forman finas nieblas por la interacción de la luz solar con el metano (CH₄) dando lugar a compuestos complejos de hidrocarburos. Estas nieblas son algo más densas en Saturno, cubren homogéneamente ambos planetas aunque son mucho más densas en las regiones polares. En torno a unos 700 mb en Júpiter y 1 bar en Saturno (presiones equivalentes a 4000 m de altura en la tierra y el nivel del mar respectivamente) se forman nubes de amoníaco (NH₃) de una densidad equivalente a la de densos cirros terrestres. Es aquí donde se ve la estructura de bandas (regiones oscuras) y zonas (regiones claras), se observan los intensos vientos zonales variables en latitud y se presentan los grandes vórtices anticiclónicos estables de Júpiter como la famosa Gran Mancha Roja, que pudo haber sido observada por primera vez por el astrónomo italiano Giovanni Domenico Cassini en 1665. La Figura 1 muestra el aspecto visual de ambos planetas vistos desde el espacio.

Por debajo de las nubes de amoníaco, las temperaturas se van incrementando hasta que a los 40 °C bajo cero el amoníaco, reacciona químicamente con otro gas minoritario, el hidrosulfuro (H₂S), para dar lugar a una nube mixta. Estas nubes son menos densas que las anteriores y comparables a estratos terrestres. Más abajo todavía aparecen las primeras trazas de agua condensada. A unos 5 bar de presión en Júpiter y 10 bar en Saturno las temperaturas son de unos 20 °C y la densidad de la nube de agua puede alcanzar valores máximos comparables a nubes densas en una tormenta intensa en la Tierra.

La Figura 2 resume la estructura vertical promedio de las nubes en ambos planetas. Paradójicamente, en 1995 la sonda espacial Galileo penetró en la atmósfera de Júpiter y envió datos sobre su composición atmosférica sin encontrar signos claros de ninguna de las tres nubes. Desafortunadamente, la sonda había penetrado en una región muy peculiar del Ecuador, extremadamente seca y desprovista de nubes, que se conoce con el nombre de *hot-spot* o regiones calientes, auténticos agujeros en las nubes de 5000 km de diámetro y al menos 150 km en profundidad. De manera casi constante en los últimos años hay unas 10-12 regiones similares rodeando la Región Ecuatorial Norte del planeta.

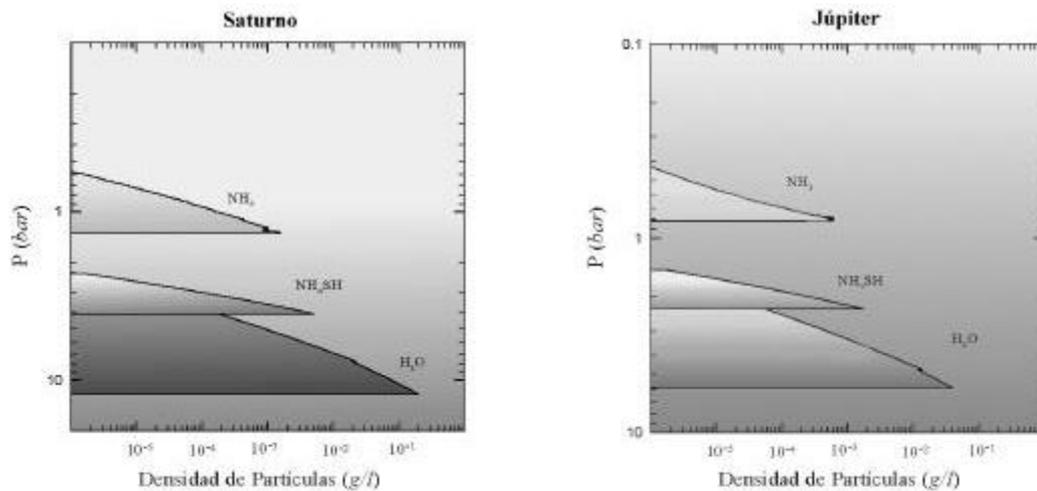


Figura 2: Estructura vertical de nubes promedio en Júpiter y Saturno. Las nubes de agua, están a 150 y 300 km por debajo de las nubes de amoníaco superiores observables en ambos planetas.

Las observaciones de alta resolución de la atmósfera de Júpiter muestran el desarrollo de grandes tormentas convectivas con escalas de unos centenares de km a 3000 km. Raramente, algunas de tales tormentas pueden crecer hasta desarrollar perturbaciones de escala planetaria que rodean por completo una estrecha banda del planeta y cambian completamente el aspecto visual de dicha banda. Las misiones espaciales que han observado Júpiter han detectado en la atmósfera descargas de luz provenientes de relámpagos jovianos, que parecen tener su origen en la nube profunda de agua a 5 bar.

En el caso de Saturno, las observaciones de tormentas convectivas son más escasas y no ha habido detecciones de relámpagos. Sin embargo, cada 30 años aproximadamente se produce la erupción de una Gran Mancha Blanca (GWS del acrónimo inglés) de gran brillo y desarrollo rápido, tan sólo un mes, capaz de crecer hasta unos 20.000 km de diámetro. En el año 1990 se produjo la última de tales Manchas mostrando signos evidentes de ser una tormenta gigantesca. A lo largo de todo un año el material nuboso producido en la tormenta fue dispersándose por el planeta hasta rodear completamente la Región Ecuatorial de Saturno (Figura 3). En el año 1994, cuando el planeta parecía haberse calmado se produjo un rebrote de escala inferior de una tormenta similar.

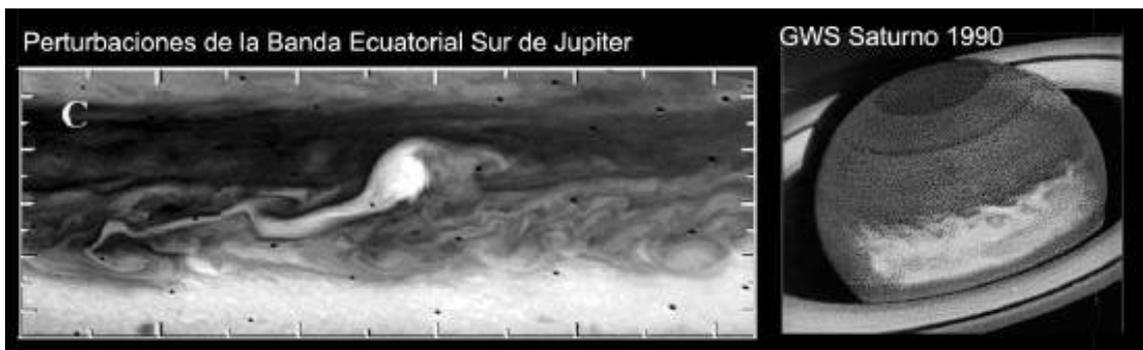


Figura 3: Tormentas en Júpiter y Saturno. La imagen de la izquierda corresponde a un sistema convectivo de la Banda Ecuatorial Sur de Júpiter. El sistema convectivo casi circular central tiene unos 5,000 km de diámetro pero produce material nuboso que es dispersado en escalas de 50,000 km en la imagen. La imagen de la derecha pertenece a la fase avanzada de la Gran Mancha Blanca de Saturno acontecida en el año 1990. Imágenes Voyager 1 y HST.

De todos los compuestos que se pueden condensar y formar nubes el más importante es el agua, no solo por ser el más abundante sino que además es el que libera mayor cantidad de energía al condensarse. El agua al condensarse calienta el aire volviéndolo más ligero y generando un fuerte impulso vertical. Ahora bien, como ya hemos dicho, la atmósfera está formada sobre todo por hidrógeno y helio y el vapor de agua es una molécula mucho más pesada que estos gases por lo que el aire húmedo es más pesado que el seco. Esto quiere decir que para acumular la cantidad de agua necesaria para que el aire se sature y pueda condensar se requieren unas condiciones atmosféricas muy limitadas en las que el factor principal es contar con aire suficientemente húmedo. La convección húmeda y el desarrollo de tormentas de agua es mucho más difícil en los planetas gigantes que en la Tierra. Sin embargo, una vez producidas las tormentas convectivas continúan acelerándose a lo largo de 150 km en Júpiter y 300 en Saturno alcanzando velocidades e intensidades desconocidas en la Tierra.

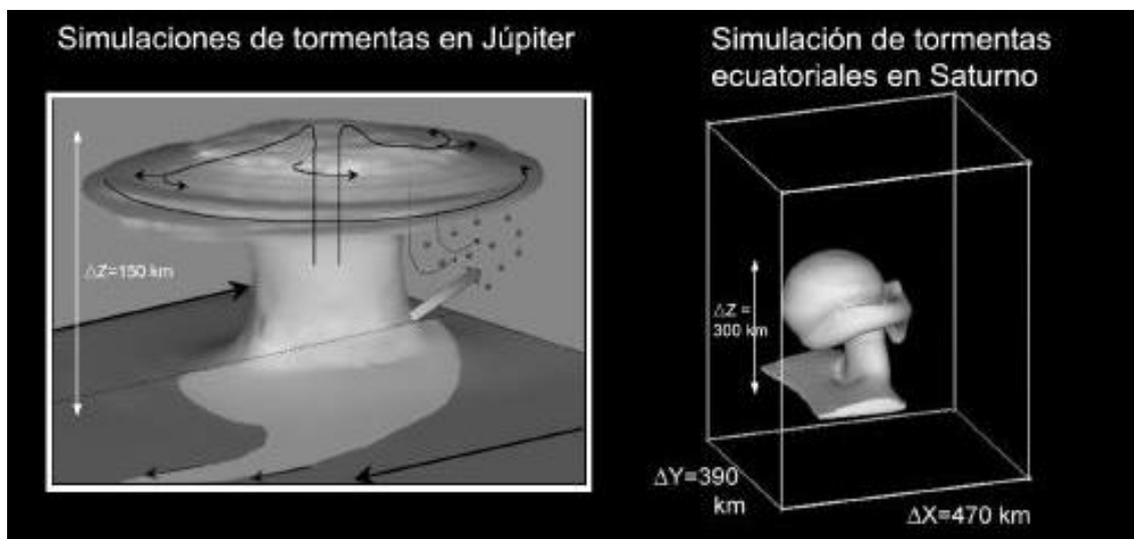


Figura 4: Esquema de la estructura tridimensional de una célula convectiva en Júpiter. La tormenta asciende con velocidades de 150 m/s en el centro y produce una nube casi circular en la que se producen movimientos anticiclónicos con vientos locales de unos 100 m/s. En el caso de las tormentas ecuatoriales de Saturno las nubes desarrollan movimientos ascendentes y descendentes igualmente intensos.

La potencia liberada por una tormenta de las características de las simulaciones presentadas en la Figura 4 es de $\sim 1-2 \times 10^{15}$ W en ambos planetas, unas cinco veces superior a la energía desarrollada por un huracán terrestre. Es cierto que estas simulaciones corresponden a tormentas desarrollándose en las condiciones atmosféricas más favorecedoras para su desarrollo y que tales condiciones solo pueden presentarse raramente por lo que no se espera encontrar un gran número de tormentas activas simultáneamente en ninguno de los dos planetas. Si n embargo, la frecuencia con la que se observan relámpagos en Júpiter ha llevado a sugerir que las tormentas convectivas en el nivel de las nubes de agua podría transportar en gran medida el calor almacenado en el interior del planeta, por lo que las grandes tormentas podrían constituir un elemento clave de la meteorología de Júpiter. Los mismos principios son aplicables a Saturno.

Finalmente, y como hemos visto, las atmósferas de los planetas gigantes pueden utilizarse como laboratorios meteorológicos naturales en los que explorar fenómenos naturales conocidos en entornos completamente distintos o explorar fenómenos completamente ajenos a la meteorología terrestre. Los más de un centenar de planetas extrasolares descubiertos hasta la fecha son del tipo de los planetas gigantes de nuestro Sistema Solar y a partir del conocimiento que tenemos de los familiares Júpiter y Saturno podemos profundizar en el conocimiento de estos mundos lejanos. La nave espacial iniciará en pocos meses una nueva fase de exploración y descubrimiento en el sistema de Saturno y permitirá desvelar aspectos fundamentales de la meteorología de dicho planeta.