

La corriente en chorro, Wasaburo Oishi y el esperanto

David QUINTERO PLAZA

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Delegación Territorial en Canarias
dquinterop@aemet.es

Resumen: La corriente en chorro es un elemento clave en la definición del tiempo atmosférico, ya que está detrás de patrones de bloqueo, guía la trayectoria de las borrascas, alarga o reduce la duración de los vuelos transoceánicos y juega un papel en el cambio climático. Existen dos corrientes en chorro a destacar, la subtropical y la polar. El título de descubridor de la corriente en chorro probablemente corresponde a Wasaburo Oishi, meteorólogo japonés. Oishi era un gran aficionado al esperanto, el lenguaje artificial, y publicó su descubrimiento en este idioma, lo que probablemente hizo que no fuera muy ampliamente divulgado. En este artículo se describirán las características básicas de la corriente en chorro y la historia alrededor de su descubrimiento.

Palabras clave: corriente en chorro; Wasaburo Oishi; esperanto; cambio climático.

1. WASABURO OISHI

El nombre de Wasaburo Oishi (figura 1) está ligado al de la corriente en chorro, pero en su vida jugó un papel fundamental también su pasión por el esperanto, lenguaje que dominó y en el que quiso dar a conocer su obra científica. Wasaburo Oishi (a veces escrito como Ooishi) nació en Japón, en la isla de Kyushu, en 1874. No existen demasiados registros biográficos sobre su persona. Sabemos que Oishi estudió Física en la Universidad Imperial de Tokio, terminando en 1898. Como señala John M. Lewis (LEWIS, 2003), en aquella época un título semejante permitía al poseedor entrar en alguna agencia estatal y tener perspectivas de pronto ascenso.

Oishi comenzó a trabajar para la Oficina Central Meteorológica, predecesora del actual JMA (Japan Meteorological Agency). Unos doce años después fue enviado a formarse a Alemania, que en la época tenía una formidable reputación en el campo de la Meteorología. Eran los últimos años de la Restauración Meiji, el periodo en que Japón abandona un medievo tardío para absorber vertiginosamente siglos de conocimiento científico. Oishi fue uno de los encargados de asimilar parte de ese conocimiento y llevarlo de vuelta a su país. Tras su etapa alemana, Oishi estuvo en Japón durante la Primera Guerra Mundial y posteriormente pasó unos meses en Estados Unidos, también en formación y para importar material para la observación de las capas altas de la atmósfera (LEWIS, 2003).

En 1920 Oishi está de nuevo en Japón y funda el observatorio de Tateno, en lo que hoy sería la ciudad de Tsukuba, a unos 50 kilómetros al noreste de Tokio. Es en este observatorio donde en el invierno de 1924 Oishi realiza sus experimentos lanzando globos que subían a alturas de 9 o 10 km. Oishi seguía la trayectoria del globo con un teodolito y estimaba la velocidad media del viento por capas. A pesar de ser un proceso sujeto a un margen de error apreciable, en el invierno de 1924 Oishi descubrió vientos de unos 70 m/s por debajo de unos 10 km de altura (LEWIS, 2003). Este viento tenía una dirección de oeste a este, era la corriente en chorro.

Tras hacerse con un buen número de datos, Wasaburo Oishi publicó su descubrimiento. Lo hizo en esperanto, probablemente con la intención de que llegase al mayor número de personas posibles (recordemos que eran los años 20 del pasado siglo y no había una *lingua franca* claramente establecida como lo es hoy el inglés). Seguramente también influyera en su decisión que Oishi era un consumado esperantista, llegando a presidir el Instituto Esperanto de Japón durante 15 años, de 1930 a 1945.



Figura 1. Wasaburo Oishi. Extraído de Journal of the Aerological Observatory, 5 (1), 1951. Cortesía de la Japan Meteorological Agency (JMA).

Los estudios de Oishi acumulados durante muchos años fueron básicamente ignorados más allá de Japón. La presencia de la corriente en chorro acabó siendo redescubierta por pilotos de aviones durante la Segunda Guerra Mundial, que al volar alto comenzaron a sentir los efectos de una especie de río atmosférico que los empujaba o lastraba. En Japón, sin embargo, los resultados de Oishi eran bien conocidos y de hecho fueron utilizados con fines militares. Tras un bombardeo americano a Tokio durante la Segunda Guerra Mundial, el gobierno japonés decidió responder. Fue el comienzo del proyecto *Fu-Go*: el uso de globos aerostáticos arrastrados por la corriente en chorro, cargados de bombas y dirigidos hacia los Estados Unidos. No está claro si Oishi apoyó o no el proyecto *Fu-Go*. Según (WOOLLINGS, 2019), Oishi era un hombre «amable» que estaba «tan dedicado a atender el jardín del observatorio como al lanzamiento de sus globos».

El meteorólogo encargado de hacer los cálculos de *Fu-Go* fue Hidetoshi Arakawa, quien se apoyó mucho en los trabajos de Oishi. La práctica totalidad de los globos japoneses (de los al menos 9000 lanzados) se perdieron o no causaron daños, excepto uno de ellos, que mató a cinco niños y a una mujer embarazada en Bly, Oregón. El grupo estaba de excursión y encontró los restos de un globo, y probablemente al manipularlos estos explotaron. Años más tarde, un grupo de mujeres que trabajaron en el proyecto *Fu-Go* cuando eran niñas enviaron mil grullas de papiroflexia a los familiares de las víctimas. El ritual de las mil grullas tiene un importante sentido en Japón, pudiendo asociarse con la paz o el envío de los mejores deseos.

2. EL ESPERANTO

El esperanto es un idioma artificial creado por el médico oftalmólogo Ludwik Lejzer Zamenhof quien tenía una capacidad formidable para los idiomas y llegó a dominar lenguas como el yiddish,

ruso, griego, alemán, francés, latín e inglés, entre otras. Parece que aprendió también ciertos rudimentos de español. La creación del esperanto fue un proceso de años, que vio por primera vez la luz con una breve gramática editada en 1897.

El esperanto buscaba ser fácil de aprender, con lo que las complejidades gramaticales tales como verbos irregulares o los diferentes géneros de los lenguajes naturales quedaron descartadas. Un ejemplo de la regularidad del esperanto lo tenemos en los verbos: la conjugación es la misma para todas las personas y solo hay presente, pasado, futuro y condicional. Si se quiere decir «yo hablo esperanto» se diría *mi parolas Esperanton*, en pasado *mi parolis Esperanton*, el futuro *mi parolos Esperanton* y el condicional *mi parolus Esperanton*. De todas formas, tampoco la simplificación es extrema, por ejemplo hay que declinar (existe el caso gramatical del acusativo), pero en todo momento las reglas son sencillas y de ámbito general.

Zamenhof desarrolló el esperanto no como un sustituto de las lenguas nacionales, sino como un vehículo de comunicación neutro, común y universal para todos los hablantes, un elemento integrador y unificador de los pueblos. De hecho, el espíritu internacionalista de Zamenhof no se quedó en el esperanto. En los primeros años del siglo XX empezó a buscar unos principios filosóficos de naturaleza universal para todos los pueblos, aunque esta empresa nunca llegó más allá de la teoría.

El esperanto tuvo un crecimiento notable desde finales del siglo XIX y en los primeros años del siglo XX (figura 2). Se empezaron a imprimir textos que lo enseñaban y el idioma artificial saltaba de país en país. A España llegó pronto, en 1898, y tuvo buena aceptación. Merece la pena destacar la labor del periodista y dramaturgo Frederic Pujulà i Vallès, entusiasta del idioma, que consiguió organizar, en 1909, un congreso internacional de esperanto en Barcelona. En dicho congreso el rey Alfonso XIII otorgó a Zamenhof el título de Comendador de la Orden de Isabel la Católica.

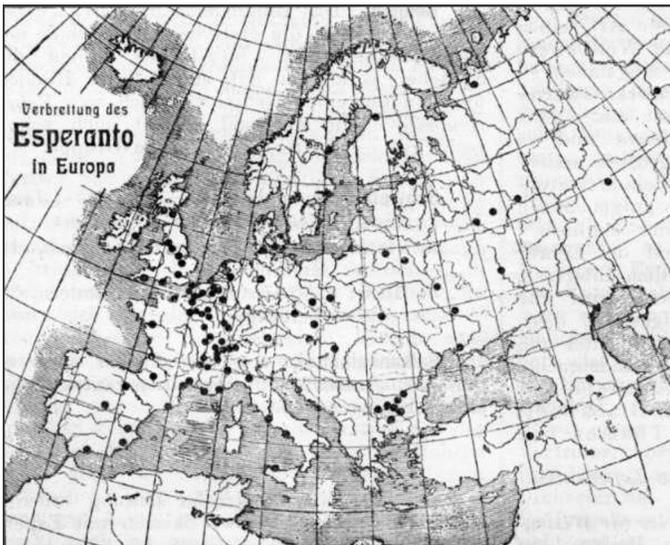


Figura 2. Grupos de hablantes de esperanto en Europa en 1905 según el número de marzo de 1905 de la revista *Germana Esperantisto*.

(Fuente: By Original uploader was Ziko at eo.wikipedia — Transferred from eo.wikipedia, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16256518>).

El esperanto tuvo especial difusión entre círculos sindicalistas que veían en el idioma una forma de unir a trabajadores de diferentes naciones. Esto hizo que algunos regímenes lo prohibieran, como fue el caso de la Alemania nazi o los primeros años del franquismo. No obstante,

el esperanto siempre fue minoritario. Con la llegada de internet su aprendizaje probablemente se ha incrementado, aunque es muy difícil estimar el número de posibles hablantes.

3. LA CORRIENTE EN CHORRO

3.1. Características principales

Como corriente en chorro se entiende una corriente relativamente estrecha que fluye de oeste a este a gran velocidad en la tropopausa (la frontera entre la troposfera y la estratosfera). La corriente en chorro puede describirse sin entrar en grandes complejidades, aunque su interacción y comportamiento sí conllevan dificultades considerables. Suelen diferenciarse dos corrientes, una de ellas polar, ubicada en torno a los 60° N; la otra es la subtropical, circulando en torno a los 30° N (aunque ambas pueden variar bastante, e incluso fusionarse). La corriente subtropical está a una altura ligeramente mayor, ya que la tropopausa tropical es algo más alta que la polar. En la figura 3 se puede ver un esquema.

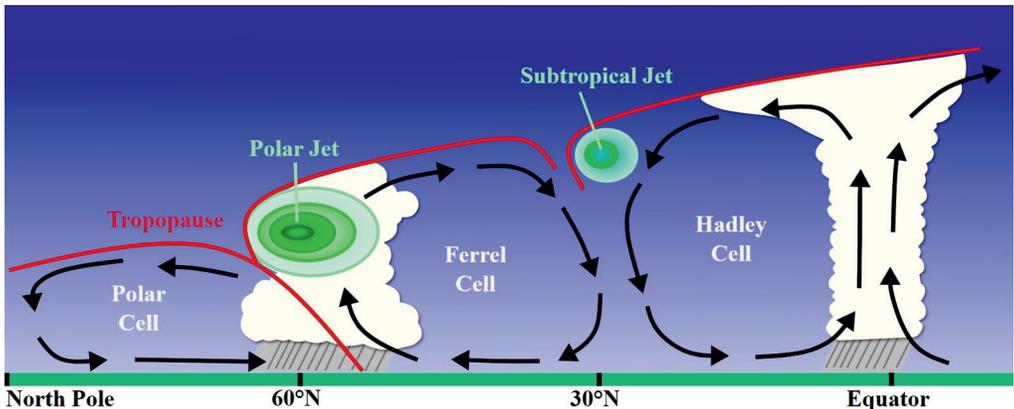


Figura 3. Vista transversal del ecuador al polo norte, indicando las dos corrientes en chorro fluyendo hacia el interior de la página, y las tres grandes células que constituyen la circulación principal de la atmósfera. Un esquema simétrico existe del ecuador al polo sur.

(Fuente: By Original: National Weather Service JetStream Vector: Sleske — Own work based on: Jetcrosssection.jpg, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=75169357>).

Para entender la corriente en chorro es fundamental explicar brevemente la circulación global. Dos factores definen la circulación global: el calentamiento del Sol y, debido a la rotación de la Tierra, la fuerza de Coriolis. El Sol calienta especialmente las zonas ecuatoriales, elevando el aire. Para evitar que se genere un vacío llega aire de latitudes altas, desviándose por Coriolis hacia la derecha en su dirección de movimiento en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur, son los vientos alisios.

El aire que ha ascendido vuelve a bajar en torno a los 30° N, y de hecho es en esas zonas donde se ubican los grandes anticiclones. La circulación mencionada se llama célula de Hadley, y fue la primera en describirse. Posteriormente se identificaron las células de Ferrel y polar (figura 3), con la polar siguiendo un esquema como el de Hadley y la de Ferrel el patrón inverso.

Una cuestión extra a tener en cuenta es el llamado «balance del viento térmico», que combina el balance horizontal entre la fuerza de Coriolis y la presión (o «balance geostrófico») y el vertical entre la gravedad y la presión («balance hidrostático»). El balance de viento térmico lleva a que, cuando existe una diferencia de temperatura, como la que hay entre el ecuador y el polo, se genera

un viento entre ambos puntos, de oeste a este, cada vez más intenso a medida que se asciende (WOOLLINGS, 2019). Para el lector más versado en matemáticas se pone como muestra la relación de viento térmico en la ecuación 1.

$$\mathbf{v}_T = \mathbf{v}_{up} - \mathbf{v}_{down} = \frac{R}{f} \hat{\mathbf{k}} \times \nabla_p \bar{T}$$

Ecuación 1. El viento térmico como diferencia de viento arriba y abajo. R es la constante de los gases, f el parámetro de Coriolis, k un vector unitario vertical, ∇ el gradiente horizontal (dejando fuera la presión como coordenada vertical) y T con barra el promedio de la temperatura en la horizontal.

Por tanto, el viento térmico, que no es un viento real, sino una diferencia entre vientos reales, nos dice que a mayor altura mayor chorro fluyendo al este.

Por supuesto, hay matices. No se tiene un chorro continuado del ecuador al polo por cada hemisferio, sino más bien dos grandes chorros por hemisferio, el subtropical y el polar (aunque a veces se fusionan). El chorro subtropical se forma fundamentalmente por el transporte de momento lineal en capas altas hacia el este por parte de la célula de Hadley. El aire cálido que ha ascendido desde el ecuador y viaja hacia el más frío polo pierde momento angular (se aleja del ecuador, la zona con mayor momento angular por tener el mayor radio de giro), así que debe compensar el menor radio de giro con mayor velocidad para conservar el momento angular; es el ejemplo clásico del patinador que gira más rápido cuando recoge los brazos que cuando los tiene extendidos. (A veces se habla de conservación de la vorticidad, es lo mismo que el momento angular, solo que aplicada a un fluido). El flujo iría hacia el este ya que la fuerza de Coriolis desvía el vector velocidad de orientación hacia el polo a orientación hacia el este.

Para el caso del chorro polar existe también el transporte de momento lineal de, en este caso, la célula de Ferrel, pero es más importante la presencia de otro término: el transporte de momento lineal por parte de los grandes «remolinos» de latitudes medias, es decir, las grandes borrascas y anticiclones que se forman en esta franja latitudinal. De hecho, este aporte hace al chorro polar más intenso que el subtropical. En latitudes subtropicales, debido a la ausencia de fuertes contrastes térmicos, este aporte «por remolinos» es muchísimo menor. Tampoco están a la misma altura los chorros polar y subtropical, ubicándose el polar algo más bajo debido a que la tropopausa está más baja en esas latitudes (nuevamente la temperatura es la explicación, ya que la mayor temperatura de la zona subtropical permite una expansión mayor del fluido atmosférico).

En la Tierra se tienen los chorros subtropical y polar, pero si el planeta fuera más grande o si girara más rápido (WOOLLINGS, 2019) habría más de dos chorros (es lo que se ve por ejemplo en el gigante gaseoso Júpiter). Es frecuente que la corriente en chorro presente una estructura más o menos ondulada a lo largo del planeta, es lo que se conoce como ondas de Rossby. De hecho, los dos conceptos, corriente en chorro y onda de Rossby están bastante relacionados (este tema es especialmente complejo). En la figura 4 puede verse la corriente en chorro sobre una onda de Rossby: las crestas azules se asocian con anticiclones en superficies y/o dorsales en altura, y los valles azules con borrascas en superficie y/o vaguadas en altura. En ocasiones (figura 4, c)) una vaguada puede descolgarse formando una *dana* (depresión aislada en niveles altos).

La corriente en chorro suele «seguir al sol». Para el caso del hemisferio norte se desplaza al norte en el verano, perdiendo algo de su velocidad (en el verano también la célula de Hadley se debilita). Cuando llega el invierno al hemisferio norte (o el verano al hemisferio sur) el chorro vuelve a descender en latitud y recobra de nuevo su potencia.

Al ser un fenómeno global, el chorro interacciona de forma compleja con todo el planeta, con los accidentes geográficos locales, con los océanos, con los patrones de teleconexión como el ENSO, etcétera, orientando y desviando tormentas. Merece la pena mencionar también que el chorro no solo tiene interés para los meteorólogos hoy en día, también se ha estudiado a lo

largo del tiempo su posible pasado y su evolución futura en un escenario de cambio climático; se dirá algo sobre esto en la próxima sección.

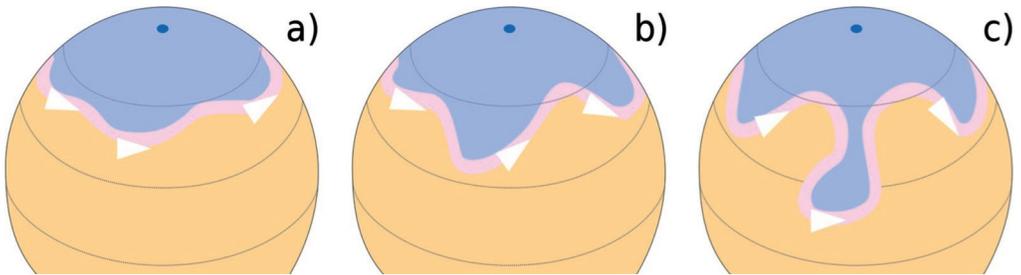


Figura 4. Onda Rossby y corriente en chorro. De a) a b) la onda y por tanto la corriente se ondulan más, y en c) está a punto de descolgarse lo que sería una dana, con reflejo (o no) en superficie. (Fuente: By Fred the Oyster, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=35217748>).

La existencia de la corriente en chorro no solo ha sido demostrada por las observaciones de la atmósfera terrestre o por las ecuaciones de la dinámica y la termodinámica, también ha sido reproducida en el laboratorio. El primero en conseguirlo fue Dave Fultz, alumno de Carl-Gustav Rossby, uno de los grandes meteorólogos del siglo XX. Fultz introdujo un líquido en una esfera en rotación. Calentó la esfera desde el polo sur ya que le era más cómodo, (diferencia importante con respecto a la Tierra, donde el aporte solar llega fundamentalmente alrededor del ecuador). No obstante, al poco se formaron meandros en latitudes medias que avanzaban de oeste a este, confirmando que lo único que hacía falta para tener la corriente en chorro eran la rotación y el calentamiento (WOOLLINGS, 2019).

3.2. Wasaburo Oishi y más

El título de descubridor de la corriente en chorro merece ser otorgado a Wasaburo Oishi, aunque la existencia de este río atmosférico que fluye hacia el este ya fue más o menos intuida en el pasado. En primer lugar, George Hadley (el que propuso la célula de circulación que hoy lleva su nombre) sugirió, junto a otros científicos, en la primera mitad del siglo XVIII, que igual que había vientos alisios del nordeste (del sureste en el hemisferio sur) en la superficie, debían existir, por una cuestión de balance, vientos de componente oeste en las capas altas de la atmósfera. Llamaron a estos vientos los *anti-trade winds*, por oposición al alisio, que en inglés es *trade winds* (WOOLLINGS, 2019).

Después de Oishi, el meteorólogo alemán Heinrich Seilkopf redescubrió, en 1939, la corriente en chorro y la llamó *Strahlströmung*, que probablemente puede traducirse como corriente en chorro. En aquella época la corriente en chorro fue un fenómeno que muchos pilotos comenzaron a experimentar en sus misiones. Y después de la II Guerra Mundial los pilotos comerciales también notaron que algunos vuelos transoceánicos de Europa a América tardaban más que en el recorrido inverso (al notar la corriente en contra y al ir a favor de la corriente, respectivamente).

Sin embargo, por su estudio más sistemático, profundo y duradero en el tiempo, así como por sus publicaciones científicas anteriores a Seilkopf y Rossby, parece claro que el verdadero título de descubridor de la corriente en chorro tiene que ser para el meteorólogo japonés Wasaburo Oishi.

4. PASADO Y FUTURO DE LA CORRIENTE EN CHORRO

Desde las medidas de Wasaburo Oishi con globos y teodolito las cosas han cambiado mucho. El número de observaciones, con globos o aviones, de la corriente en chorro se ha disparado, mientras que los cada vez más sofisticados modelos numéricos la simulan y las más modernas herramientas de software dibujan su evolución sobre mapas. Oishi estaría satisfecho.

Por ejemplo, sabemos que en la última era glacial de nuestro planeta, hace algo más de 20 000 años, cuando el hielo cubría Norteamérica, la corriente en chorro no ascendía hacia el norte al poco de abandonar el subcontinente norteamericano, sino que proseguía en una dirección ligeramente sur, generando condiciones más frías de lo normal en el norte de África y el Mediterráneo. Para algunos autores, esto puede haber incentivado ciertas migraciones humanas (WOOLLINGS, 2019).

Respecto al futuro: ¿cómo afectará el cambio climático a la corriente en chorro? Resulta que determinar esto es un problema muy complejo aún en estudio (LEE *et al*, 2021). En lo que sí se coincide es en que el chorro se está desplazando hacia los polos, ya que la zona tropical se va ensanchando, cuestión predicha por los modelos climáticos y observada experimentalmente. ¿Pero se puede decir algo respecto a la futura intensidad de la corriente en chorro? Este apartado es mucho más difícil.

Por ejemplo, durante un tiempo se propuso (FRANCIS y VAVRUS, 2012) que, ya que el Ártico se calienta a un ritmo muy superior a otras zonas, si disminuye el contraste térmico ecuador-polo por la relación de viento térmico vista antes, el viento disminuye en intensidad debilitando el chorro. Un chorro debilitado forma más meandros, se ondula más. Estos meandros tienden a dar lugar a «patrones de bloqueo», situaciones relativamente estacionarias en donde ciertas zonas experimentan estabilidad prolongada (en términos de calor y sequía) y otras sufren tiempo muy inestable (lluvias abundantes y persistentes).

Hoy en día no se cree que esto sea así (WOOLLINGS, 2019; MARTIN, 2021). Resulta que además del contraste térmico en superficie importa también la diferencia térmica en altura. Ahí la tropopausa tropical se calienta más que la de latitudes medias, y parece que este efecto ganaría al calentamiento en superficie del Ártico. Así que el chorro no se debilitaría sino que podría incrementarse ligeramente. Aunque la incertidumbre es alta. De hecho, para complicar aún más las cosas, podría haber otros factores más locales involucrados, que podrían introducir modificaciones de la corriente en chorro en ciertas regiones. La corriente en chorro responde a los cambios en el clima, y a su vez influye sobre el propio clima, un proceso complejo que realizan muchas variables atmosféricas llamado «realimentación».

5. CONCLUSIONES

Los trabajos de Wasaburo Oishi y otros demostraron la existencia de la corriente en chorro. Algunos pilotos empezaron a informar de ella y en la actualidad es usada para optimizar el tiempo de vuelo en viajes transoceánicos. En la Tierra es posible distinguir dos corrientes por hemisferio, la subtropical y la polar, aunque a veces se unen. Hoy también sabemos que la corriente en chorro es clave para determinar el tiempo atmosférico en múltiples regiones del globo, y que interacciona de forma compleja con teleconexiones como el ENSO, con sistemas montañosos y muchos otros factores del clima. Por último, la corriente en chorro juega y jugará un papel importante en el cambio climático.

Los esquemas conceptuales aquí mostrados intentan dar una visión cualitativa del comportamiento de la corriente en chorro, aunque para poder describirla con toda su complejidad hace falta apelar a las ecuaciones, que son las que codifican y condensan la información relevante. A nivel técnico, estas ecuaciones son sistemas de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, acopladas y no lineales, muy difíciles de resolver, necesitando de potentes ordenadores, y también

incorporan algunas simplificaciones. Mejorar estos modelos será clave para predecir el futuro de la corriente en chorro. Investigadores de todas las naciones están en ello, herederos del trabajo que Wasaburo Oishi comenzó hace ya un siglo.

REFERENCIAS

- FRANCIS, J. A. y VAVRUS, S. J., 2012. Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L06801. <https://doi.org/10.1029/2012GL051000>.
- LEE, J.-Y., MAROTZKE, J., BALA, G., CAO, L., CORTI, S., DUNNE, J. P., ENGELBRECHT, F., FISCHER, E., FYFE, J. C., JONES, C., MAYCOCK, A., MUTEMI, J., NDIAYE, O., PANICKAL, S. y Zhou, T., 2021. Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near-Term Information. En: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu y B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 553-672. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.006>.
- LEWIS, J. M., 2003. Ooishi's Observation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 84, 357-370. <https://doi.org/10.1175/BAMS-84-3-357>.
- MARTIN, J. E., 2021. Recent trends in the waviness of the Northern Hemisphere wintertime polar and subtropical jets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126, e2020JD033668. <https://doi.org/10.1029/2020JD033668>.
- WOOLLINGS, T., 2019. *Jet Stream: A Journey Through our Changing Climate* (English Edition). OUP Oxford, 24 de octubre de 2019.