

condiciones meteorológicas fueron inusualmente suaves. En las proximidades de Alaska la anomalía positiva para el mes fue de 12 grados y de 10 grados sobre gran parte del norte de Siberia.

En el océano ártico canadiense los hielos fueron normales. Vientos terrales persistentes mantuvieron casi libre la costa del mar de Beaufort. Se informó que buques a unos 50 kilómetros mar adentro, frente al delta del río Mackenzie, pudieron continuar buscando petróleo hasta el final de noviembre.

Antártida.

La época estival de 1981/82 fue normal en la mayor parte del continente. La región de la península antártica tuvo un otoño templado con temperaturas entre uno y cuatro grados por encima de lo normal, mientras que en el este de la Antártida eran por igual margen inferiores a lo normal y se informó de nuevos mínimos mensuales absolutos en varios observatorios. A pesar de ser julio un mes inusualmente templado en Mawson y Davis, el invierno, en su conjunto, resultó ser el más frío jamás registrado allí. La primavera comenzó fría con algunas bases en la Antártida oriental experimentando una temperatura media en septiembre de cuatro grados por debajo de lo normal, pero en noviembre las temperaturas fueron extraordinariamente templadas por todas partes: Amundsen Scott (Polo Sur) y Vostok informaron de temperaturas medias máximas absolutas para noviembre; que fueron, para que quede constancia, $-32,3^{\circ}\text{C}$ y $-38,8^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

EL EPISODIO CALIDO PRINCIPAL DEL PACIFICO DE 1982/83

Por E.M. RASMUSSON*
y J.M. HALL**

Hacia finales de cada año, una débil corriente oceánica cálida procedente del sur se desarrolla a lo largo de las costas de Ecuador y de Perú dando lugar a una elevación de las temperaturas de la superficie del mar. Dado que la aparición de esta corriente coincide aproximadamente con la época de las Navidades, la población local la denominó *El Niño*. Sin embargo, cada pocos años se observa una elevación de las temperaturas de la superficie del mar (TSM) mucho mayor de lo normal, y hoy en día el término *El Niño* se refiere fundamentalmente a estos episodios cálidos principales, aunque ya resulta claro que los procesos físicos asociados con estos episodios principales son bastante diferentes de aquellos relacionados con los calentamientos anuales más débiles. Los calentamientos principales no se limitan a la región costera sudamericana, sino que se extienden hacia el oeste a lo largo del ecuador más allá de los 180° de longitud, más de una cuarta parte de la circunferencia de la Tierra.

Si *El Niño* fuese simplemente un fenómeno regional aislado, o si incluso se limitase al este del Pacífico ecuatorial, sería un fenómeno de interés limitado. Sin embargo,

* NOAA Climate Analysis Centre (Centro de Análisis Climático de la NOAA), Washington, D.C., EE.UU.

** NOAA Office of Climate and Atmospheric Research (Oficina de investigación climática y de la atmósfera de la NOAA), Rockville, EE.UU.

se trata de un elemento muy importante del vasto sistema de fluctuaciones climáticas océano-atmósfera. Por ejemplo, cada vez que tiene lugar un calentamiento principal en el Pacífico, resulta fuertemente negativa la diferencia entre la presión atmosférica en superficie en Tahití, en el sureste del Pacífico, y en Darwin, en el norte de Australia, lo cual indica que las anomalías de las temperaturas de la superficie del mar están relacionadas con unos cambios a gran escala en la distribución de la presión atmosférica.

En principio, los cambios de la configuración de la presión atmosférica a nivel del suelo asociados a los episodios cálidos fueron descubiertos en el decenio de los años 20 por Sir Gilbert Walker, cuando estaba intentando desarrollar unos métodos para la predicción de las lluvias monzónicas sobre la India; este fenómeno fue llamado la oscilación del sur (OS). Como índice de la OS para seguir la evolución de esta redistribución oscilatoria de masa atmosférica, los científicos utilizan la diferencia de presión entre dos localidades muy distantes como son Tahití y Darwin. Hoy en día, la OS se ha relacionado no sólo con los sucesos de *El Niño* a lo largo de la costa sudamericana, sino de una manera más general con una familia de fluctuaciones océano-atmósfera que explican una parte importante de la variabilidad climática global de un año a otro.

El campo de vientos en los niveles bajos es el vínculo entre las OS de la presión y los cambios en el océano. En condiciones normales, los alisios sobre el noreste y el sureste del Pacífico convergen justo al norte del ecuador, a lo largo de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Desde aquí, el aire se desplaza hacia el oeste, cerca del ecuador, hasta adentrarse en la región de las bajas presiones en las proximidades de Indonesia. Cuando el índice de la oscilación del sur (IOS) aumenta, también aumenta el gradiente de presión de este a oeste a lo largo del ecuador, y se intensifica el flujo de aire hacia el oeste. Los vientos persistentes del este arrastran literalmente a la superficie

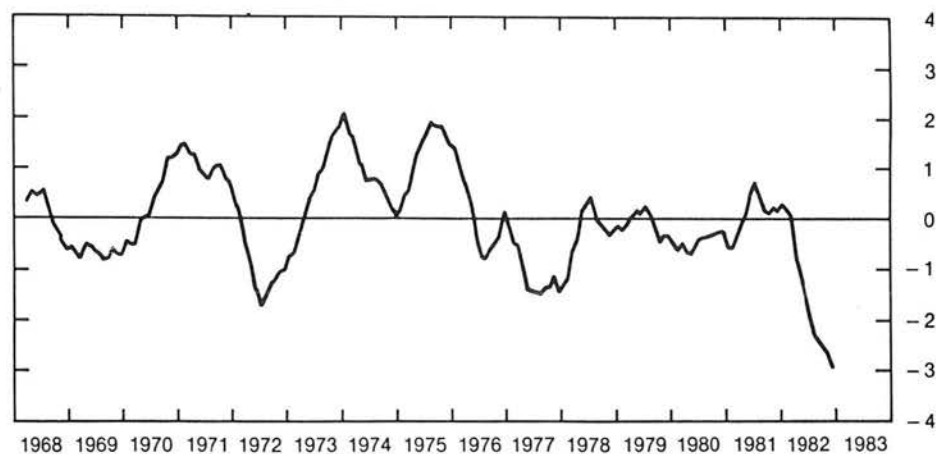


Figura 1 - Variación cronológica del índice de oscilación del Sur (IOS) dado por los valores de la presión en superficie en Tahití menos los de Darwin. La curva está trazada con los valores medios de cinco meses, y las unidades son las desviaciones standard.

del agua hacia el oeste, dando lugar a una subida del nivel del mar en el Pacífico occidental y a un descenso del nivel en el este. La termoclina oceánica, que separa a las aguas cálidas de la capa de mezcla en la parte superior del océano del agua más fría que se encuentra debajo, incrementa su pendiente en la dirección opuesta, con una capa de mezcla profunda en el oeste y una poco profunda a lo largo de la costa Ecuador-Perú. Generalmente esta capa de mezcla poco profunda está asociada a un afloramiento de

las aguas profundas frías hacia la superficie, que son muy ricas en elementos nutritivos, lo que favorece la riqueza de los bancos de pesca allí.

Con un IOS decreciente, aumenta la presión sobre la región de Indonesia. El gradiente de presión a lo largo del ecuador decrece y, en el caso de episodios excepcionalmente fuertes tales como el de 1982, realmente llega a invertirse. Los vientos ecuatoriales del este en el oeste del Pacífico disminuyen de velocidad, cambiando de dirección y soplando de oeste a este. Con este drástico cambio en el arrastre de la superficie oceánica, el nivel del mar comienza a volver hacia la horizontal. Dicho ajuste tiene lugar de una forma tal que sugiere un fenómeno oceánico interno denominado onda de Kelvin. La respuesta que se propaga se inicia en el Pacífico occidental con el cambio del campo de vientos, propagándose hacia el este a lo largo del ecuador a una velocidad de varios metros por segundo, y llega a las costas sudamericanas varias semanas más tarde. Los oceanógrafos creen que la llegada de una o más de estas ondas de Kelvin de lento desplazamiento en el Pacífico oriental está asociada a una depresión de la termoclina y a un afloramiento atenuado o débil de las frías aguas profundas hacia la superficie, dando lugar a las condiciones del fenómeno *El Niño*.

La *Figura 1* muestra el IOS de la presión en superficie de Tahití menos el de Darwin desde 1968. Los mínimos en 1969, 1972 y 1976/77 reflejan los tres episodios cálidos anteriores. En 1982, hubo una rapidísima disminución del índice entre mayo y junio, seguido de un descenso constante hasta registrar valores muy bajos a finales del año. El campo de vientos en el este del Pacífico ecuatorial respondió en consecuencia

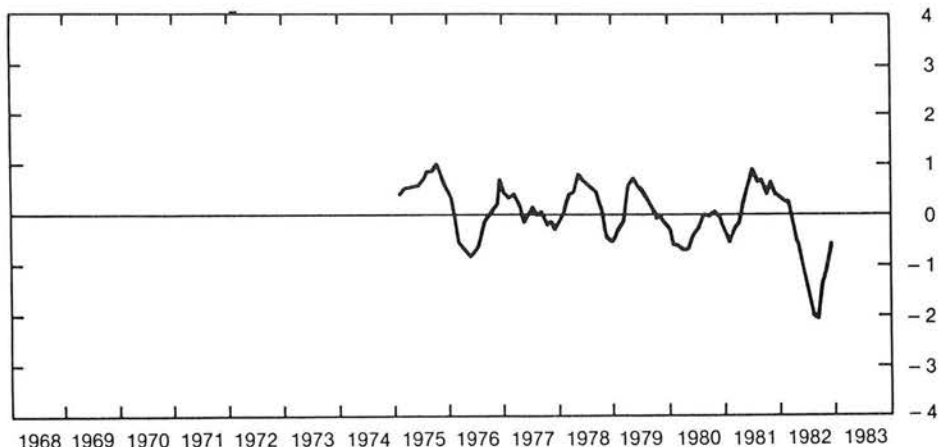


Figura 2 – Variación cronológica del viento medio del este sobre el Pacífico ecuatorial (en la zona $135^{\circ}\text{E} - 170^{\circ}\text{W}$; $5^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{S}$), tomando como unidad la desviación standard. El pronunciado pico negativo de 1982 resultó en un cambio a vientos del oeste.

tal como se muestra en la *Figura 2*. El flujo del este desapareció entre mayo y junio, y en julio el flujo medio sobre la zona del índice ($5^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{S}$, $135^{\circ}\text{E} - 170^{\circ}\text{W}$) cambió para soplar del oeste y permaneció así hasta diciembre. Estas anomalías excedieron con mucho a cualquiera de las registradas con anterioridad. Los cambios en el viento y en la presión estuvieron asociados a importantes cambios en el régimen de precipitaciones a gran escala del Pacífico (la ZCIT en el este del Pacífico y otra zona de precipitaciones fuertes, la zona de convergencia del sur del Pacífico que se extiende desde las proximidades de Nueva Guinea hacia el sureste hasta más allá de los 180° de longitud). A medida que el episodio cálido fué evolucionando, la ZCIT se trasladó ligeramente hacia el sur, mientras que la zona de convección del suroeste del Pacífico se trasladó ha-

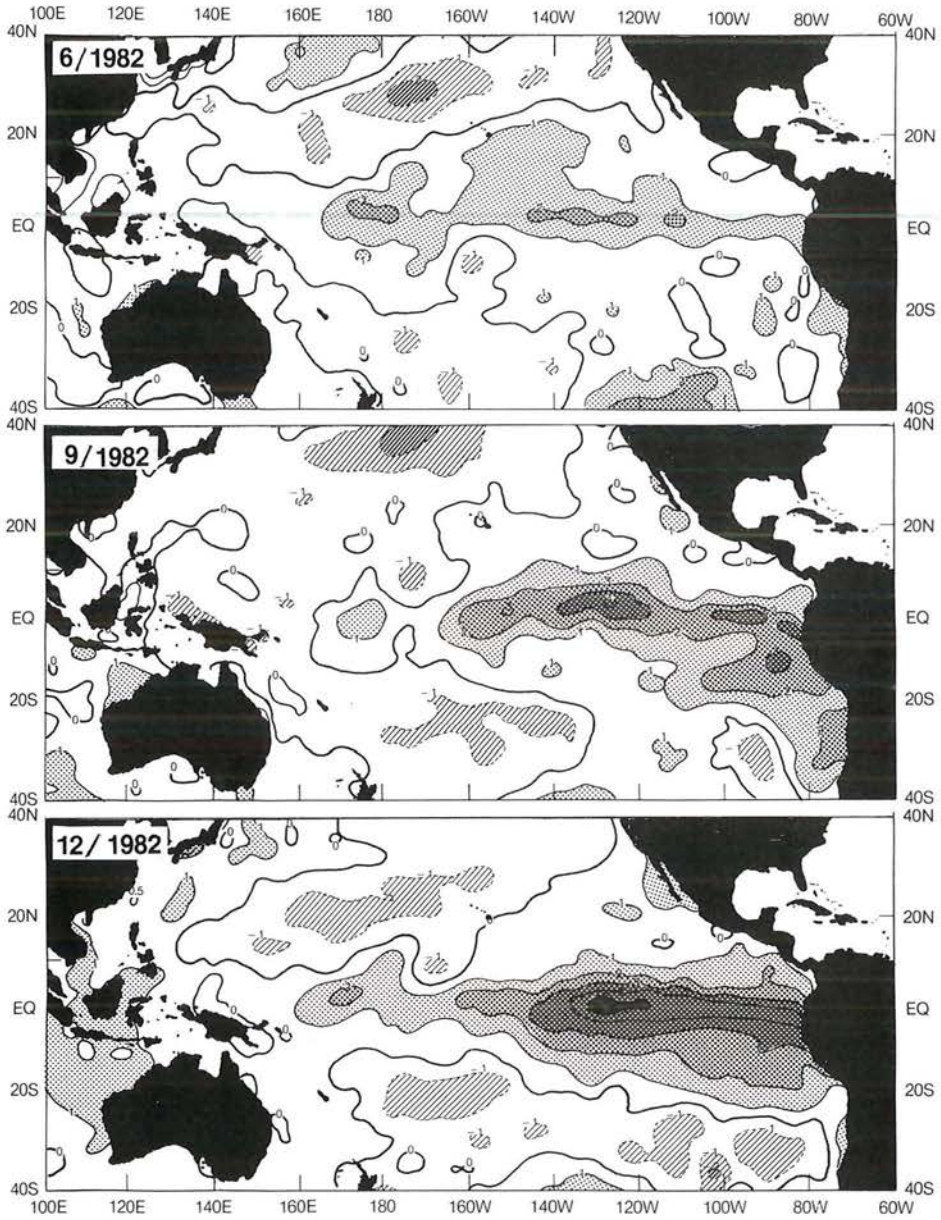
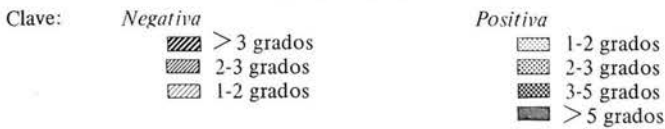


Figura 3 – Anomalías en la temperatura de la superficie de la mar, en grados Celsius, en el Pacífico ecuatorial, en junio, septiembre y diciembre de 1982.



cia el este. Las regiones del centro y del este del Pacífico ecuatorial que normalmente son regiones secas recibieron copiosas precipitaciones mientras que el sureste de Australia e Indonesia sufrieron graves sequías, incluso sequías como nunca se han registrado. En Kiribati (Islas Gilbert) y más hacia el este, en las Islas Line, se observaron condiciones inversas registrándose fuertes precipitaciones día tras día con lo cual se desbarató la economía y la ecología de estas islas ecuatoriales.

De una forma más gráfica, los efectos a gran escala de este *El Niño* se ilustran mediante la evolución del campo de anomalías de las temperaturas de la superficie del mar del Pacífico tropical (véase la *Figura 3*). Primero aparecieron en mayo extensas áreas de anomalía positiva en el Pacífico ecuatorial, y en junio las TSM estaban entre uno y dos grados Celsius por encima de lo normal desde la costa de América del Sur hasta los 170°E. En agosto, las anomalías positivas habían desaparecido al oeste de los 180° pero habían aumentado ligeramente al este de los 140°W. En septiembre, dos ó tres meses después de la desaparición de los vientos ecuatoriales del este, se produjo un rápido desarrollo de la anomalía positiva de la TSM en el este del Pacífico ecuatorial. La cronología de estos sucesos (junto con los cambios observados en el nivel del mar) coincide con la llegada al Pacífico oriental de una o más ondas de Kelvin. Esto señala el inicio de *El Niño* a lo largo de la costa sudamericana. La ZCIT se desplazó hacia el sur, dando lugar a una época de lluvias prematura en Ecuador durante los tres últimos meses del año; las inundaciones en Ecuador y en las provincias del norte de Perú fueron las peores que se recuerdan en 50 años. También hubo importantes daños a la industria de la pesca, ya que una de las características de los episodios *El Niño* consiste en que se eliminan los afloramientos de las aguas profundas ricas en elementos nutritivos.

En diciembre, las anomalías de las TSM superaban los cuatro grados en extensas zonas y localmente llegaban a exceder los seis grados. La extensa zona de los vientos del oeste anómalos (que primero aparecieron en junio sobre el Pacífico occidental) se había desplazado hacia el este, alcanzando una posición bastante más al este de los 180° de longitud. Al oeste de los 180° de longitud, habían vuelto los vientos del este, quizás aún más fuertes de lo normal. En el pasado, esta segunda inversión de los vientos sobre el Pacífico occidental había señalado la fase de madurez del episodio cálido y la inminente disminución de las anomalías de las TSM. Las anomalías de febrero de 1983 en el este del Pacífico ecuatorial fueron, en efecto, algo inferiores a los valores máximos registrados en diciembre de 1982 y en enero de 1983, pero en marzo de 1983 existía una renovada tendencia hacia arriba al oeste de los 90°W.

Este suceso era mucho más intenso que el típico episodio cálido. También resultó notable que, cerca de la costa sudamericana, la cronología en que esto ocurría era muy poco usual. Comenzó a mediados de año, en vez de a principios de año que es lo normal en los sucesos de *El Niño*. También aparecieron numerosas anomalías climáticas típicas e importantes: en Australia e Indonesia se experimentó una larga sequía, las excesivas precipitaciones sobre el centro del Pacífico ecuatorial se extendieron en dirección sudeste sobre la Polinesia francesa y siguieron hasta Chile, y además se produjeron las lluvias torrenciales sobre Ecuador y el norte de Perú. Mientras que las provincias del norte de Perú sufrieron las inundaciones, algunas regiones más hacia el sur experimentaron temperaturas superiores a las normales debido a la disipación de la nubosidad habitual.

Con la llegada del invierno al hemisferio norte, apareció en numerosas regiones la configuración de las anomalías del episodio cálido típicas de esta estación. El continuo desplazamiento de las zonas de precipitación en el Pacífico se tradujo en el desarrollo

de condiciones secas desde Filipinas hacia el este a través de las islas Hawaii. Regiones tan remotas como el sur de Africa y el noreste de América del Sur registraron precipitaciones por debajo de lo normal, otro suceso típico de esta fase del episodio cálido. Aparecieron corrientes en chorro más fuertes de lo normal sobre el Pacífico en ambos hemisferios. La corriente en chorro del hemisferio norte se extendió hacia el este a través de las regiones del sur de los EE.UU., llevando períodos lluviosos y tormentosos desde California hasta Florida. Las bajas presiones de la región del golfo de Alaska fueron más intensas de lo normal, y hubo épocas en que se desplazaron hacia el sureste llevando vientos y mareas destructivos a las regiones costeras de California.

A medida que *El Niño* evolucionó se produjeron cambios significativos en la distribución y en la abundancia de la vida marina en las aguas costeras del Pacífico sudamericano. Hacia finales de 1982 se observó a lo largo de las costas de Ecuador una drástica reducción de huevos de peces y de larvas (esta condición también pudo darse igualmente en otras regiones). Las fluctuaciones en la biomasa de los huevos de los peces y de las larvas están relacionadas con las variaciones importantes de un año a otro en la población piscícola. El hecho de que la industria de la pesca de la anchoa se desbaratará en Perú durante *El Niño* de 1972/73 se debió probablemente al efecto combinado de *El Niño* y de un exceso en las capturas. Esto fue seguido de una débil recuperación, pero el episodio cálido de 1976/77 acabó con ella.

La falta de una subsiguiente recuperación en la industria de la pesca de la anchoa en Perú al menos en parte, puede atribuirse a la ausencia de un fuerte resurgimiento de los afloramientos de las aguas profundas frías hacia la superficie tras el episodio de 1976. Las capturas de anchoa durante 1980 y 1981 fueron sólo una fracción del nivel anterior a 1972.

Los informes de los científicos relacionados con el programa ERFEN (*Estudio Regional del Fenómeno El Niño*) señalan que durante *El Niño* de 1982, los bancos de anchoas de Ecuador primero se desplazaron a mayores profundidades o se desplazaron a las regiones costeras a medida que las aguas se calentaban. También parece que emigraron hacia el sur apareciendo en las aguas del norte de Chile. También existe la evidencia de una emigración similar de las sardinas hacia el sur; las sardinas de las aguas peruanas mostraron un comportamiento errático y estaban extraordinariamente delgadas.

La caballa continuó apareciendo en número próximo al normal a lo largo de la costa de Ecuador, pero el examen del contenido de su estómago indicó que estaban consumiendo sus propios huevos. El lucio amarillo aparentemente disminuyó en el norte de Chile y apareció más cerca de la costa. A lo largo de la costa de Perú aparecieron gran número de anchoas jóvenes y sardinas muertas; esto puede constituir un índice de la gravedad de *El Niño* de 1982/83 ya que una mortalidad de tal magnitud no se había observado durante los episodios de 1972 y 1976. Por último, a finales de 1982 se registró un descenso en la captura de camarones en aguas colombianas y en Ecuador la principal industria de viveros de camarones en el estuario de Guayas quedó devastada por el influjo de agua fresca resultante de las catastróficas inundaciones del interior.

Parece que este episodio cálido quedará en los registros como uno de los más intensos, y en muchos aspectos como uno de los sucesos más extraordinarios del siglo. Desde un punto de vista humano y económico, también puede haber sido uno de los más costosos, al menos en numerosas zonas del mundo. Aún es demasiado pronto para hacer una evaluación de los principales problemas socioeconómicos que ha ocasionado.

Mirando hacia atrás, se puede decir con seguridad que dado el estado actual de nuestros conocimientos, nadie hubiese podido anticipar los dramáticos sucesos climáticos de los últimos meses. Aunque limitados e incompletos los datos recopilados son muy superiores a los adquiridos durante cualquiera de los anteriores episodios. Más aún hemos sido testigos de un intercambio más rápido de información meteorológica, oceanográfica y pesquera entre los países, instituciones y personas individuales que en cualquier fenómeno de *El Niño* ocurrido con anterioridad. En el pasado, no sólo llevé meses, sino años reunir una serie de datos completos de *El Niño*. Durante el episodio de 1982/83 estos datos con frecuencia estaban disponibles localmente en dos o tres semanas.

Indudablemente, una visión completa de estos datos nos ayudará a avanzar en nuestros conocimientos sobre este destructor, pero fascinante y extremadamente importante, sistema de variabilidad climática. Muchos de estos datos, en especial los datos oceanográficos submarinos, aún no han sido analizados con meticulosidad, pero esta labor se está llevando a cabo en una serie de instituciones.

Actualmente se están elaborando los planes para el OTAG (Océano Tropical/Atmósfera Global), un importante programa de investigación internacional de un decenio de duración relacionado con este complejo sistema de fluctuaciones climáticas. Hay cuestiones que, si se encuentra respuesta, permitirán mejorar las predicciones meteorológicas a largo plazo, mejorar las predicciones climáticas estacionales e interanuales, confeccionar productos con datos climáticos para los gobiernos y la industria, así como elaborar modelos cada vez más realistas sobre el papel del medio ambiente y las influencias de la sociedad en la variabilidad de los recursos de la vida marina. Quizás, cuando llegue el próximo episodio cálido, estaremos armados con mayores conocimientos y con los sistemas de observación perfeccionados que resultan necesarios para poder responder a las muchas de las importantes cuestiones que quedan por resolver.

EL PROFESOR HEINRICH WILD (1833-1902)

Por E.P. BORISENKOV*

Heinrich Wild figura entre la constelación de célebres geofísicos que fundaron el Comité Meteorológico Internacional, iniciando de esta manera una nueva era en el estudio de la atmósfera mundial. Este año se celebra el 150 aniversario de su nacimiento.

Nació el 17 de diciembre de 1833 en la ciudad suiza de Uster, a unos 15 km. de Zurich, pasando allí su infancia para posteriormente cursar sus estudios en la Universidad de Zurich. Obtuvo el doctorado en 1857 y tres años más tarde le nombraron profesor en la Universidad de Berna y director del Observatorio. Al cumplir los 30 años ya había montado varias estaciones meteorológicas en los cantones de Berna y Solothurn, sentando las bases de una red meteorológica en Suiza. Sus estudios teóricos en el campo de la geofísica llamaron la atención en Rusia y fue invitado a cubrir la vacante de director del Observatorio principal de física de San Petersburgo (hoy Leningrado). El 10 de mayo de 1868, Wild fué elegido Académico Extraordinario de la Academia de Ciencias de San Petersburgo. En una carta dirigida al Presidente de la Academia, F.P.

* Director del Observatorio principal de geofísica A.I. Voieikov, Leningrado.