

EDITORIAL

EL NIÑO, NOVAMENTE!

ALICE M. GRIMM - EDITORA ASSOCIADA DA RBMET

El Niño está de volta e seus impactos já se espalham pelo Brasil: inverno mais quente e primavera mais chuvosa que o normal no Sul, primavera mais seca e mais quente na maior parte do Sudeste, além de seca no Norte e Nordeste do Brasil. Eventos extremos de precipitação, cuja frequência é significativamente aumentada por episódios El Niños, já produziram danos. É uma ocasião oportuna para mencionar alguns aspectos interessantes a respeito do fenômeno, em termos de história, curiosidades, avanço no conhecimento, monitoramento e previsão, além de estudos sobre impactos na América do Sul.

El Niño é a fase quente de uma grande oscilação acoplada oceano-atmosfera no Oceano Pacífico tropical, denominada em conjunto El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Nesta fase, a temperatura da superfície do mar (TSM) está acima do normal no Pacífico central e leste. O nome El Niño foi formalmente utilizado pela primeira vez em 1891, no Boletim da Sociedade Geográfica de Lima, embora já fosse usado por marinheiros para nomear uma corrente marítima de norte para sul ao longo da costa do Peru, em época próxima ao Natal (Philander, 1990). Atualmente, o termo é usado apenas para nomear episódios mais fortes deste tipo, que coincidem com a fase quente da oscilação. Já o termo Oscilação Sul foi cunhado por Walker em 1923, para descrever a oscilação de pressão atmosférica associada, entre Pacífico leste e oeste. Bjerknes (1969) foi o primeiro a descrever os mecanismos físicos associados com ENOS, como parte de uma instabilidade acoplada do sistema oceano-atmosfera do Pacífico tropical.

El Niño-Oscilação Sul é o principal modo de interação oceano-atmosfera e seus impactos são de escala global. Para demonstrar as grandes quantidades de energia envolvidas, um interessante exercício é calcular o aumento da quantidade de calor na camada de 500 m mais próxima à superfície no Pacífico equatorial (10S-10N, 150E-75W), de julho de 1996 a março de 1997, antes do forte episódio de 1997-98. Chega-se ao valor de $3,5 \times 10^{22}$ J, usando dados observados de temperatura (Kessler, 2015). Isto equivale, em termos de energia, a 418.000.000 (418 milhões) de bombas atômicas de 20 kt cada (a bomba lançada sobre Nagasaki tinha 21 kt). Outra comparação interessante é com a potência instalada de uma grande usina hidroelétrica, como a de Itaipu. A taxa de transferência de calor no intervalo de tempo acima citado representa uma potência de $1,5 \times 10^{15}$ W. A capacidade instalada de Itaipu é de $1,4 \times 10^{10}$ W. Portanto, seriam necessárias em torno de 110.000 usinas de Itaipu trabalhando

continuamente por oito meses para suprir a energia necessária. São quantidades descomunais. El Niño provavelmente não aquece toda esta água, mas sim redistribui o calor já existente no oceano. Contudo, o trabalho feito na redistribuição de toda esta água, que é mais difícil de calcular por não haver medidas de correntes tão confiáveis quanto as de temperatura, tem provavelmente mesma ordem de grandeza da energia necessária para o aquecimento acima mencionado.

Estudos paleoclimáticos indicam a existência de fenômeno ENOS muitos milênios antes da época atual (Tudhope et al., 2001; Sandweiss e Quilter, 2008), embora seu comportamento possa variar, conforme as condições climatológicas (Sandweiss et al., 2001). Tendo em vista que o registro observacional para El Niño cobre pouco mais de um século, estudos sobre impactos de ENOS sobre a América do Sul baseados em registros históricos são importantes para obter uma perspectiva mais ampla de eventos e consequências. Quinn et al. (1978, 1987) usaram dados históricos do Peru e Equador para fazer uma cronologia e classificação de episódios El Niño ocorridos desde a conquista espanhola, como o primeiro grande episódio do período pós-colombiano, que devastou o norte do Peru em 1578. Outro episódio muito intenso, mais recente, iniciou-se em 1876 e perdurou até 1878, produzindo impactos dramáticos em nível global e também na América do Sul, onde, além dos efeitos usuais, produziu os mais devastadores impactos no Nordeste do Brasil. Milhares de pessoas morreram de fome e doenças durante a seca que iniciou em 1877 (Aceituno et al. 2009).

A influência de ENOS no clima global, produzida pelas variações no aquecimento da atmosfera tropical, que alteram a circulação atmosférica global, afeta significativamente sociedades e ecossistemas. Portanto, é importante a previsão de ENOS com uma ou mais estações de antecedência. Na realidade, após o forte evento de 1982-83, a previsão de ENOS foi uma das motivações principais de vários programas internacionais de pesquisa, tais como o programa *Tropical Ocean-Global Atmosphere* (TOGA, 1985-1995) e o subsequente programa *Climate Variability and Predictability* (CLIVAR). Juntamente com o programa TOGA, foi desenvolvido um sistema de boias atracadas sobre o Pacífico tropical, para medir parâmetros meteorológicos na superfície, assim como parâmetros oceânicos abaixo dela, e transmitir os dados via satélite. O sistema, denominado originalmente *Tropical Atmosphere Ocean* (TAO) e renomeado TAO/TRITON a partir de 2000, consiste

de aproximadamente 70 boias, que medem operacionalmente ventos, temperatura da superfície do mar, umidade relativa, temperatura do ar e temperaturas abaixo da superfície em dez profundidades na camada de 500 m mais próxima à superfície. Em consequência dos programas de pesquisa e sistemas observacionais, grande progresso foi obtido na teoria, observação e previsão de ENOS.

Não há dúvidas de que ENOS é previsível, mas os limites desta previsibilidade ainda são debatidos. A sua dinâmica básica já é bem compreendida e sua previsão tornou-se rotina em vários centros de pesquisa e operação. A sua previsibilidade provem da interação oceano-atmosfera no Pacífico tropical e da baixa dimensão do sistema acoplado, dominado por poucos modos (Chen e Cane, 2008). Os dois principais fatores limitantes inerentes da previsibilidade de episódios ENOS são o crescimento de erros nas condições iniciais e o papel da forçante estocástica (ruído das condições variáveis de tempo ou ruído atmosférico) na iniciação de episódios ENOS. Se o primeiro fator for predominante, então o potencial alcance das previsões pode ser longo (alguns anos) e há espaço para melhorar as previsões, aperfeiçoando modelos, sistemas de observação e métodos de assimilação de dados. Se, contudo, o segundo fator tiver mais importância e o ruído atmosférico for um “gatilho” para episódios El Niño, então estes episódios são essencialmente imprevisíveis em mais longo prazo. Chen et al. (2004) mostraram que os episódios mais proeminentes de El Niño em quase 1,5 séculos poderiam ser previstos com até dois anos em avanço com um modelo que não emprega forçante estocástica. Isto sugere maior dependência das condições iniciais do que do ruído atmosférico. Eles também mostraram que, usando TSM reconstruída para a inicialização, o modelo usado previu a maioria dos episódios quentes e frios de ENOS com 6 meses de antecedência, o que é representativo do estado corrente de previsão de ENOS. Tanto modelos estatísticos como dinâmicos produzem previsões úteis para a fase madura de ENOS com até duas estações de antecedência. Previsões de conjunto são bem melhores que qualquer modelo individual e o desempenho depende da estação do ano, da fase e da intensidade de ENOS (Jin et al. 2008). Contudo, não foi ainda encontrada previsibilidade para o comportamento de ENOS em escala decadal (Wittenberg et al., 2014).

Muitos estudos diagnósticos já abordaram os impactos de ENOS na América do Sul e no Brasil, onde eles são muito significativos em várias regiões. Portanto, a citação destes estudos será restrita aos mais pioneiros ou mais abrangentes, que incluam o Brasil. Tais estudos são importantes porque auxiliam o detalhamento das previsões climáticas. Apesar dos grandes avanços dos modelos de previsão numérica, eles ainda deslocam efeitos das teleconexões de ENOS sobre a América do Sul e subestimam estes efeitos, além de não reproduzir certos

mecanismos. Entre os estudos a nível global, que estimularam estudos a nível regional, destacam-se Ropelewski e Halpert (1987, 1989). Estudos anteriores a 1984 que já mencionavam conexões entre ENOS e precipitação em partes de algumas regiões do Brasil, como o Sul, Norte e Nordeste, são citados na revisão de Kousky et al. (1984). Rao e Hada (1990) apresentaram a conexão entre a Oscilação Sul e precipitação no Brasil, com dados no período 1958-78. Entre os estudos a nível continental na América do Sul, destacam-se os de Aceituno (1988, 1989), que exigiram trabalho intenso de coleta de dados, descrito na nota a seguir.

Embora os estudos de maior escala (global, continental) indicassem o Sul do Brasil como região afetada por ENOS, havia nestes estudos poucas estações com dados nesta região, sendo apenas duas nos estudos de Ropelewski e Halpert (1987, 1989). Portanto, grande esforço foi feito para ajuntar dados de 250 estações na região e fazer uma análise mais detalhada, o que produziu novos resultados. Por exemplo, a primavera foi identificada como a estação de maior impacto de ENOS na região, especialmente o mês de novembro. Impactos fortes em outono do ano seguinte foram também detectados e subregiões de maior coerência dos impactos foram delimitadas (Grimm et al., 1998). Análises deste tipo, que envolveram grande trabalho de coleta, verificação e análise de dados, foram estendidas para todo o sudeste da América do Sul (Grimm et al., 2000) e para todo o Brasil (Grimm, 2003; 2004). Além da precipitação, abordaram também a influência de ENOS sobre a temperatura (e.g., Barros et al., 2002). Foi verificado também o grande impacto de ENOS na frequência de eventos extremos de chuva (Grimm e Tedeschi, 2009). Mais recentemente, foram realizadas análises discriminando os impactos dos dois principais tipos diferentes de ENOS, mais intensos no Pacífico central ou no Pacífico leste (e.g., Tedeschi et al., 2014).

O episódio de 2015-16 tem potencial de ser tão forte quanto o de 1982-83 ou 1997-98. No início de novembro de 2015, a anomalia média de TSM das regiões Niño 3 e 3.4 já excedia 2,7°C, enquanto uma extensa faixa já apresentava anomalias acima de 3,0°C. As maiores anomalias encontram-se no Pacífico equatorial leste, o que o caracteriza como um El Niño leste, pelo menos até agora. Há 95% de probabilidade de que ele se estenda para 2016, assim como seus impactos. Contudo, com todo o progresso ocorrido nas últimas décadas, espera-se que as perdas humanas e materiais sejam bem menores do que naqueles episódios anteriores.

Na sequência, há um relato muito interessante do Dr. Patricio Aceituno, sobre as venturas e desventuras pelas quais passou na sua aventura de coleta de dados em vários países da América do Sul, para escrever sua tese de doutorado e seus artigos de 1988 e 1989 sobre os impactos de ENOS no continente.

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE ENSO SOBRE EL CLIMA DE AMÉRICA DEL SUR REALIZADO DURANTE LA DÉCADA DE 1980

PATRICIO ACEITUNO

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile

Con el objeto que las nuevas generaciones de estudiantes y científicos valoren los avances en la disponibilidad de información climatológica, así como en la disponibilidad de herramientas computacionales y de análisis para su procesamiento y despliegue gráfico, se describe en la presente nota una investigación realizada durante la década de 1980 para describir y analizar la influencia de la Oscilación del Sur sobre la variabilidad climática interanual en América del Sur y las regiones vecinas.

Poco más de treinta años atrás, en junio de 1985, me embarcaba en el aeropuerto de Chicago rumbo a América del Sur, con el auspicio de la *TinkerFoundation* y el objetivo de visitar servicios meteorológicos y centros de investigación en ocho países de América del Sur para recopilar información climática que me permitiera ampliar la base de datos que hasta entonces había logrado reunir para abordar de un modo empírico el estudio de los impactos de la Oscilación del Sur, particularmente durante sus fases extremas asociadas con los eventos El Niño y La Niña, sobre la variabilidad climática en América del Sur y las regiones circundantes. El interés por el tema se remontaba a tres años antes, cuando mi llegada en agosto de 1982 al Departamento de Meteorología de Universidad de Wisconsin en Madison, gracias a una beca concedida por la Organización Meteorológica Mundial para la realización de estudios doctorales, coincidió con un estado de alerta respecto de la posible ocurrencia de un evento El Niño, lo que de inmediato asocié con el “diluvio” que había experimentado en los meses previos la región central de Chile, y en particular mi ciudad, Santiago, donde el normalmente escuálido río Mapocho había crecido hasta desbordar su cauce. Entonces, puedo trazar la motivación de mi tesis doctoral a uno de los dos más intensos eventos de El Niño del siglo XX, que entre 1982 y 1983 dejó un reguero de daños y destrucción a lo ancho y largo de toda la geografía del planeta.

Aquel viaje por el continente sudamericano, del cual recuerdo muchas anécdotas, fue el último esfuerzo de rescate de datos, que primero me había llevado a rastrear información climática en muchas fuentes documentales, partiendo por los kardex metálicos donde mi profesor guía, Stefan Hastenrath, guardaba información climática mensual de estaciones aerológicas y meteorológicas de todo el mundo, aparte de registros hidrometeorológicos, entre los cuales encontré series

mensuales de caudales de los ríos Magdalena en Colombia, Amazonas en Brasil y Paraná en Argentina, aparte de una serie del nivel del Lago Titicaca en Bolivia. Todo ello en tarjetas perforadas (fue la última vez que las ocupé), que prontamente traspasé a un formato más moderno, en la forma de diskettes (*floppy disks*) de un microcomputador Apple IIe (64Kb de memoria RAM) que un par de años después cambié por un Macintosh, que lo doblaba en capacidad de cálculo.

En el proceso de reunir la información que necesitaba tuve el apoyo del Prof. Hastenrath para acceder a la base de datos COADS correspondiente a la región tropical del Pacífico oriental y del Atlántico tropical, de la cual obtuve datos de temperatura superficial del mar, presión atmosférica y viento superficial en una grilla regular de 5° x 5° de latitud/longitud para el periodo 1948 – 1983. La contribución de Klaus Weickman fue también valiosa para acceder a datos de radiación infrarroja emergente medida en satélites de órbita polar de la NOAA. Sin embargo, a mediados de 1985 ya había agotado todos los esfuerzos por reunir la información climática de América del Sur que necesitaba para la tesis. En ese proceso, pasé largas horas en la magnífica Biblioteca Central de la Universidad de Wisconsin buscando información en anuarios meteorológicos y documentos con estadísticas oficiales de los distintos países sudamericanos. Recuerdo haber encontrado en ese lugar información climática relevante en unos documentos oficiales de Venezuela, así como anuarios meteorológicos del Centro Nacional de Investigaciones del Café, de Colombia. En esa búsqueda, a veces de carácter obsesivo, recuperé la información que estaba disponible en la serie *World Weather Records*, editada por el *National Climate Data Center – USA*. Mi frustración por la carencia de información climática de Cuba disponible en EE-UU me llevó a la acción, que en su momento todos consideraron inútil, de enviarle una carta personal al Director del Instituto de Meteorología en La Habana, solicitando información. La razón para tal escepticismo era obvia. El presidente de EE-UU era Ronald Reagan y la política de boicot contra Cuba alcanzaba su máxima expresión. Sin embargo, para mi sorpresa y la de quienes me rodeaban, unos meses más tarde recibí un paquete postal conteniendo información pluviométrica mensual correspondiente a 5 estaciones (Casablanca, Paso Real, Cabo San Antonio, Punta Maisi y La Vega) entre

1951 y 1983, todo cuidadosamente transcrito con máquina de escribir. Lo consideré como una muestra de solidaridad latinoamericana, que agradecí sobremanera.

El viaje por Sudamérica en junio de 1985 me permitió conocer de cerca la penosa realidad respecto de la disponibilidad de información climatológica en la mayoría de los servicios meteorológicos de la región. En todo caso, y salvo una excepción, recibí en todos lados una afectuosa acogida y una buena disposición para contribuir del mejor modo posible con la información que requería, lo que muchas veces me significó pasar largas horas copiando manualmente series de datos desde anuarios. La excepción ocurrió en Guayaquil, donde viajé por vía aérea desde Quito luego de visitar el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). El propósito del viaje era obtener información de temperatura superficial del mar en el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR). Luego de informar el motivo de mi visita al oficial que me recibió, y darle el nombre de la Universidad donde estaba haciendo mi doctorado, desapareció por un rato largo. Al volver, me informó que lamentablemente no me podían ayudar, porque en el registro de los organismos con los cuales mantenían colaboración no aparecía la Universidad de Wisconsin, mencionándome de paso el nombre de un conocido investigador norteamericano con quien mantenían contacto, y a quien le habían proporcionado ese tipo de información. Para que no me fuera con las manos vacías, me regalaron la Memoria del Instituto del año anterior, lo que para todos los efectos prácticos me era completamente inútil. Estaba tan furioso, que volví de inmediato al aeropuerto y una hora después volaba rumbo a Quito. Ese resultado adverso fue compensado por la generosidad del Director del INAMHI, quien al momento de la despedida me hizo entrega de una copia de todos los anuarios meteorológicos generados por la institución, lo que me permitió aumentar significativamente la información climática que hasta entonces disponía de Ecuador.

La visita a Bolivia tuvo también anécdotas dignas de relatar. Partiendo por la llegada, en un vuelo desde Quito a La Paz, con una escala de 5 horas en Lima. Allí se me solicitó presentarla visa para el ingreso a Bolivia, dada mi ciudadanía chilena, requisito que entonces ignoraba. Como no disponía de ella, mi primer intento fue dirigirme a la embajada de Bolivia en el centro de la ciudad, donde me informaron que la persona encargada de entregar visas se encontraba en el aeropuerto en una misión especial. Un taxi me llevó de vuelta al punto de partida, donde al cabo de un rato pude dar con él. Largas negociaciones ocurrieron en los pasillos del aeropuerto, y antes mi incansable insistencia sacó por fin un timbre desde su bolsillo, estampando en mi pasaporte una autorización para el ingreso a Bolivia por un plazo máximo de 24 horas, lo que al menos me daba la oportunidad de negociar la autorización para una estadía más larga. Efectivamente la pude lograr en el

aeropuerto de La Paz, luego de una larga espera y de depositar un “aporte voluntario” de US\$ 10 en el cajón de un escritorio, ubicado en la oficina anexa al lugar donde era atendido por un funcionario de inmigración. Resuelto el escollo, me dirigí a las oficinas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) en el centro de la Paz. Ojalá pudiera recordar el nombre de la persona que allí me recibió, que era el responsable de la base de datos climatológicos. Fue extremadamente amable y colaborador. El primer día que me reuní con él había una huelga general de empleados estatales, lo cual no impidió que lo acompañara en la marcha de protesta por las calles de la ciudad, conversando sobre datos y estaciones meteorológicas de Bolivia, rodeado por empleados que voceaban consignas con pancartas en las manos. Para evitarme el laborioso trabajo de transcribir manualmente la información, me facilitó un archivo completo con series climatológicas mensuales, algunas de ellas manuscritas, que fotocopí fuera de las oficinas del SENAMHI, guardándolas como un gran e inesperado tesoro.

En resumen, el viaje por América del Sur recopilando datos para la tesis doctoral fue una experiencia inolvidable. En Lima visité el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y la Universidad Agraria La Molina donde conocí a José Marengo, que ejercía allí labores docentes y de investigación. Este encuentro me llevó posteriormente a recomendar su nombre al Prof. Hastenrath, cuando estaba en el proceso de búsqueda de un nuevo estudiante de doctorado. Viajé luego a Ecuador y a Bolivia y posteriormente a Paraguay donde visité la Dirección de Meteorología e Hidrología en Asunción. El destino siguiente fue el INPE en Sao José dos Campos, donde me encontré por primera vez con Carlos Nobre, Iracema Cavalcanti y Mary Kayano. De esa visita conservo el amable recuerdo de Maringolo Lemes, quien la última noche de mi estadía me acompañó en un largo recorrido por los bares de la ciudad, que casi me hizo perder el vuelo hacia Montevideo la mañana siguiente. De la Dirección Nacional de Meteorología de Uruguay conservo un grato recuerdo, pues además de la información que pude recolectar, me entregaron como obsequio la colección casi completa de la *Revista Meteorológica*, que se editó en Uruguay entre 1942 y 1954, siendo ésta la primera revista especializada en meteorología que se editó en el continente. La penúltima visita del tour fue al Departamento de Meteorología de la Universidad de Buenos Aires, y de ahí, luego de un fugaz paso por Santiago para visitar la familia, volví a Estados Unidos donde recibí una inesperada bienvenida en el aeropuerto de Chicago. En efecto, la sinuosa ruta por el continente sudamericano debe haber despertado sospechas en el agente de inmigración que controló mi pasaporte en Toronto, donde hice escala antes de viajar a Chicago, puesto que al salir del avión me esperaban un par de policías, quienes de un modo amable pero firme, me interrogaron sobre las actividades

realizadas durante el viaje. Supongo que por un momento fui sospechoso de ser un traficante de drogas.

De vuelta a Madison, vino lalarga y tediosa labor de configurar las bases de datos para su revisión y análisis (temperatura del aire, temperatura de la superficie del mar, presión atmosférica a nivel de superficie, precipitación, radiación infrarroja emergente, viento en superficie en regiones oceánicas, altura geopotencial y viento en los niveles troposféricos de 850 hPa, 500hPa y 200 hPa). La información en papel o manuscrita obtenida en el viaje a Sudamérica fue necesario digitalizarla. Utilicé diversas técnicas para acelerar el proceso, como leer los datos en una grabadora y luego escuchar la grabación para digitalizarlos en el Apple IIe. A veces tuve la colaboración de mi esposa, quien me dictaba los números mientras yo los ingresaba al computador. El trabajo de buscar consistencia y detectar errores en los datos provenientes de 215 estaciones meteorológicas y 55 estaciones aerológicas utilizadas en el estudio me llevó mucho tiempo. Comprobé que el simple despliegue gráfico de las series permitía detectar rápidamente las inhomogeneidades más evidentes. En este proceso se me quedaron grabados los nombres de muchos lugares del continente, que seguramente nunca conoceré, pero que cuando los veo aparecer en las noticias o en algún reportaje me recuerdan esas largas horas de revisión y análisis de los datos.

Al comparar los procedimientos de cálculo, las técnicas de análisis de datos, y los programas para el despliegue y confección de figuras, mapas y gráficos que utilicé en el desarrollo del estudio, con los actualmente disponibles, me sorprende gratamente el avance que ha ocurrido en los últimos 30 años. En mi caso, debí ser autosuficiente en todo, desde la creación de las bases de datos hasta el desarrollo de programas computacionales para revisar la validez de la información, realizar los cálculos estadísticos, y confeccionar las figuras y gráficos. Todo con el auxilio de los dos microcomputadores

ya mencionados, el lenguaje de programación Pascal, y un procesador de texto cuyo nombre no recuerdo. Algunos cálculos estadísticos tardaban horas en completarse en el Apple IIe, para lo cual definí algunas estrategias especiales. Por ejemplo, en el análisis de correlación entre un índice de la Oscilación del Sur y diversos campos meteorológicos (temperatura, presión, viento, etc.) utilicé una técnica de Montecarlo para establecer la significancia estadística espacial. Esto requería repetir 500 veces el cálculo de correlación para cada uno de los puntos de la grilla de los datos COADS, lo que podía tomar una hora en el pequeño computador. Como además era necesario repetir el procedimiento para cada bimestre del año, y para cada una de las variables climáticas consideradas, dejaba el programa corriendo antes de dormir, con una instrucción para que el computador emitiera una señal de sonido cuando concluía el cálculo. Entonces las primeras dos o tres horas de sueño nocturno las interrumpía para cambiar los parámetros del programa, y repetir el proceso de cálculo. Un proceso que con las capacidades computacionales actualmente disponibles en cualquier centro de investigación solo tomaría unos segundos.

Las habilidades gráficas del computador Macintosh me fueron muy útiles para producir todas las figuras y mapas que se incluyeron en la tesis doctoral, y en los dos artículos que derivaron de ella (Aceituno, 1988; Aceituno 1989). Así, elaboré rutinas computacionales escritas en lenguaje Pascal para dibujar los continentes, graficar vectores de viento, representar campos escalares mediante distintos tonos de gris, representar los campos de correlación, etc. (ver Figura 1). En medio del stress asociado a la redacción final de la tesis y la interpretación de los resultados, esa tarea fue un hobby entretenido para aliviar la tensión.

La interpretación de los resultados de la investigación no estuvo exenta de angustias y frustraciones. Particularmente

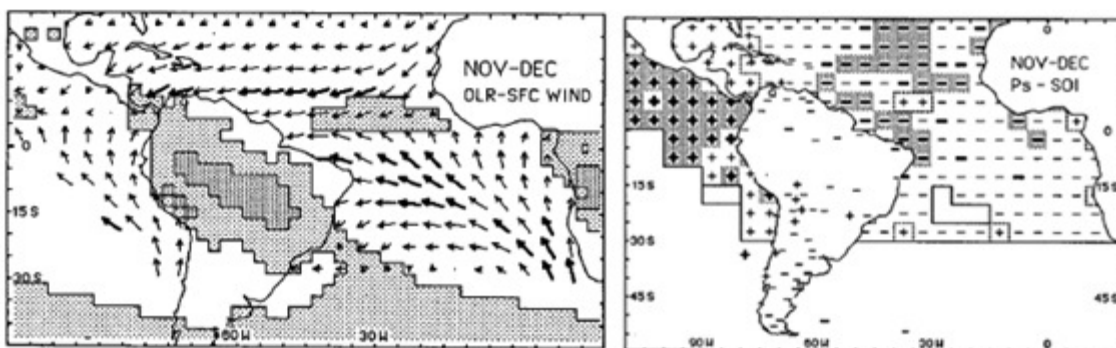


Figura 1 - Panel izquierdo: campos climatológicos de radiación infrarroja emergente (isolíneas de 210 W m^{-2} y 240 W m^{-2}) y viento superficial durante noviembre – diciembre. El viento de una magnitud superior a 6 m s^{-1} se indica en negrita. Panel derecho: coeficiente de correlación durante noviembre - diciembre entre el índice de Oscilación del Sur (diferencia de presión entre Tahiti y Darwin) y la presión atmosférica superficial obtenida en estaciones meteorológicas y en observaciones desde barcos. Las áreas achuradas en las regiones oceánicas indican magnitudes de correlación superiores a 0.4 que alcanzan significancia estadística a un nivel de 95%.

interesante me pareció la correlación negativa entre el índice de Oscilación del Sur y la precipitación en la región andina de Colombia, señal que también se manifestaba en forma significativa en la correlación con el caudal del río Magdalena. Sin embargo, a pesar del esfuerzo puesto en el estudio de esta señal no logré interpretar los mecanismos detrás de la tendencia de ocurrencia de sequías (inundaciones) durante la fase negativa (positiva) de la Oscilación del Sur, asociada a los eventos El Niño (La Niña), mecanismos que fueron posteriormente esclarecidos por investigadores colombianos, particularmente en trabajos de Germán Poveda. Con todo, considero que el resultado general de la tesis fue satisfactorio, pudiendo documentar por primera vez las características estacionales de la influencia de la Oscilación del Sur, y sus fenómenos asociados de El Niño y La Niña, en la dinámica del clima en América del Sur y las regiones vecinas.

El éxito de la tesis, y de las publicaciones que de ella derivaron, se debe en gran medida a la dirección de la misma por parte del Prof. Stefan Hastenrath. De él aprendí el valor del trabajo riguroso, la alta exigencia en las metas propuestas, la mirada siempre crítica a los datos, el cuidado en el uso del lenguaje, y la aplicación de la estadística sólo como una herramienta para alcanzar el objetivo prioritario de entender los mecanismos físicos detrás de las anomalías climáticas. Admiro también su generosidad y lealtad con sus estudiantes. Al respecto, cabe mencionar que a mi invitación a compartir la autoría de los dos artículos que se publicaron con los resultados de la tesis doctoral respondió amablemente indicando que no correspondía, porque estimaba que el trabajo y esfuerzo había sido mayoritariamente mío. Por último, quisiera aprovechar esta oportunidad para reconocer y agradecer a los observadores de las 270 estaciones meteorológicas y aerológicas que utilicé en la investigación. El esfuerzo de todos ellos, a lo largo de varias décadas, hizo posible configurar las series climáticas que constituyeron el insumo básico para la investigación de mi tesis doctoral, cuyos resultados tantas satisfacciones me dieron en mi vida como científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEITUNO, P. On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate. **Monthly Weather Review**, v. 116, p. 505-524, 1988.
- ACEITUNO, P. On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part II. Upper-Air Circulation. **Journal of Climate**, v. 2, p. 341-355, 1988.
- ACEITUNO, P.; PRIETO, M. R.; SOLARI, M. E.; MATINEZ, A.; POVEDA, G; FALVEY, M. The 1877-1878 El Niño episodes: associated impacts in South America. **Climatic Change**, v. 92: p. 389-416. Doi 10.1007/s10584-008-9470-5, 2009.
- BARROS, V. R.; GRIMM, A. M.; DOYLE, M. E. Relationship between temperature and circulation in Southeastern South America and its influence from El Niño and La Niña events. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 80, p. 21-32, 2002.
- BJERKNES, J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. **Monthly Weather Review**, v. 97, p. 163-172, 1969.
- CHEN, D.; CANE, M. A.; KAPLAN, A.; ZEBIACK, S. E.; HUANG, D. Predictability of El Niño over the past 148 years. **Nature**, v. 428, p. 733-736, 2004.
- CHEN, D.; CANE, M. A. El Niño prediction and predictability. **Journal of Computational Physics**, v. 227, p. 3625-3640, 2008.
- GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 11, p. 2863-2880, 1998.
- GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 13, p. 35-58, 2000.
- GRIMM, A. M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, v. 16, p. 263-280, 2003.
- GRIMM, A. M. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics**, v. 22, n. 2-3, p. 123-138, 2004.
- GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and extreme rainfall events in South America. **Journal of Climate**, v. 22, n. 7, p. 1589-1609. DOI: 10.1175/2008JCLI2429.1, 2009.
- JIN, E. K. e coautores. Current status of ENSO prediction skill in coupled ocean-atmosphere models. **Climate Dynamics**, v. 31, p. 647-664, doi:10.1007/s00382-008-0397-3, 2008.
- KESSLER, W. Frequently-(well, at least once)-asked-questions about El Niño. Disponível em <<http://faculty.washington.edu/kessler/occasionally-asked-questions.html#q2>>. Acesso em 10 nov. 2015.
- KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v. 36A, p. 490-504, 1984.
- PHILANDER, S. G. **El Niño, La Niña and the Southern Oscillation**. Academic Press. 1990.
- QUINN, W. H.; ZOPF, D. O.; SHORT, K. S.; KUO, R. T. W. Y. Historical trends and statistics of the Southern Oscillation, El Niño, and Indonesian droughts. **Fisheries Bulletin**, v. 76, p. 663-678, 1978.
- QUINN, W. H.; NEAL, V. T.; MAYOLO, S. E. A. El Niño occurrences over the past four and a half centuries. **Journal**

- of Geophysical Research**, v. 92, n. C13, p. 14.449-14.461, 1987.
- RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, p. 81–90, 1990.
- ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño-Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 1606–1626, 1987.
- ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 2, p. 268–284, 1989.
- SANDWEISS, D. H.; MAASCH, K. A.; BURGUER, R. L.; RICHARDSON III, J. B.; ROLLINS, H. B.; CLEMENT, A. Variation in Holocene El Niño frequencies: Climate records and cultural consequences in ancient Peru. **Geology**, v. 29, p. 603-606. Doi: 10.1130/0091-7613, 2001.
- SANDWEISS, D. H.; QUILTER, J. **El Niño, catastrophism, and culture change in ancient America**. Dumbarton Oaks Research Library and Collection, Washington, D.C. 2008.
- TEDESCHI, R. G.; GRIMM, A. M.; CAVALCANTI, I. F. A. Influence of Central and East ENSO on extreme events of precipitation in South America during austral spring and summer. **International Journal of Climatology**, DOI: 10.1002/joc.v.4106, 2014.
- TUDHOPE, A. W.; CILCOTT, C. P.; McCULLOCH, M. T.; COOK, E. R.; CHAPPELL J.; ELLAM, R. M.; LEA, D. W.; LOUGH, J. M.; SHIMMIELD, G. B. Variability in the El Niño-Southern Oscillation through a glacial-interglacial cycle. **Science**, v. 291, p. 1511–1517, 2001.
- WITTENBERG, A. T.; THOMAS, A. R.; ELWORTH, L. D.; VECHI, G.; ZENG, F. ENSO modulation: is it decadal predictability? **Journal of Climate**, v. 27, p. 2667-2681, 2014.