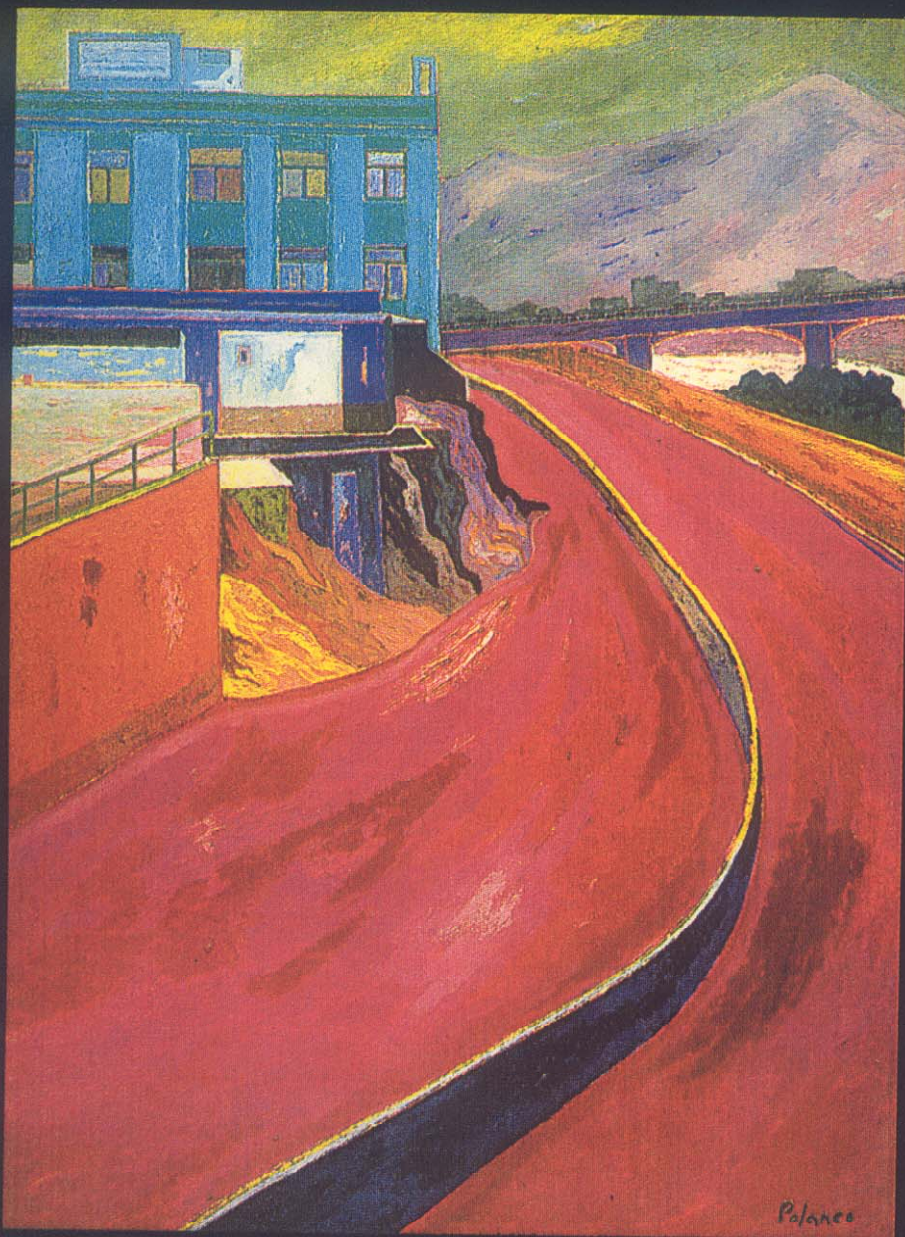


El Perú en los albores del siglo XXI / 2

CICLO DE CONFERENCIAS 1997/1998

ORTIZ DE ZEVALLOS / WEBB / VILLARÁN / MÁRQUEZ / BOZA /
COSERIU / CERRÓN-PALOMINO / MILLONES / LEÓN HERRERA /
PULGAR VIDAL / WOODMAN / SOTA NADAL / ALEGRIA /
MAZZOTTI / CAMACHO



EDICIONES DEL CONGRESO DEL PERÚ



Instituto Geofísico del Perú
Sector Educación

EL FENÓMENO EL NIÑO Y EL CLIMA EN EL PERÚ

Dr. Ronald Woodman Pollit

Exposición: Ciclo de Conferencias de la Primera Legislatura Extraordinaria, 1997-
Congreso de la República, 25.11.97.

El Fenómeno El Niño y el Clima en el Perú

Ronald Woodman Pollitt*

Prefacio. El contenido del presente artículo está basado en una conferencia presentada en El Congreso por invitación de la Dra. Martha Hildebrant, una de varias correspondientes al "Ciclo de Conferencias de la Primera Legislatura Ordinaria, 1997". Han transcurrido varios meses desde la presentación de la conferencia hasta la composición y publicación de ésta en forma escrita. La situación también ha cambiado, de una situación de expectativa y pronósticos a una de realidad vivida. Acabamos de experimentar nuevamente uno de los Niños más dañinos de la historia peruana desde que Pizarro desembarcó en nuestras playas en 1528. Tenemos que cambiar pues, pronósticos por realidad, sin por ello dejar de incluir una discusión sobre los primeros, dada su importancia en un programa de prevención. Creo necesario la aclaración porque lo aquí escrito, principalmente el último capítulo, no conforma en su totalidad a lo expresado verbalmente en la conferencia mencionada.

El tema de mi charla es sobre el Fenómeno del Niño. Dadas las circunstancias, seguramente estarán ansiosos de escuchar sobre El Niño que nos está afectando en éstos momentos, así como una comparación de éste relativa a lo ocurrido durante El Niño del año 1983. Cubriremos estos temas, pero, antes de entrar en el tema de El Niño y sus particularidades, quisiera hacer unas consideraciones previas, como un repaso de ciertos conceptos de carácter geográfico, los que hay que discutir por dos razones: una, porque son importantes para entender El Niño, y dos, porque hay ciertos conceptos que traemos de la escuela (por lo menos en mi caso y estoy seguro que en muchos de ustedes, aún inclusive los jóvenes) que están equivocados. Incluyo a los jóvenes en ésta apreciación porque he tenido la experiencia de escuchar por radio y televisión a especialistas recién formados que siguen repitiendo alguna de las cosas que aprendieron recientemente en la escuela sobre El Niño y que no son correctas.

Analizaremos primero por qué normalmente no llueve en la costa del Perú. Vale la pregunta, pues hay que recordar que el Perú es un país tropical, la latitud de Lima son 12° Sur, comparable o menor que muchos lugares de Centroamérica y El Caribe, y sin embargo, no llueve ¿Por qué no llueve? La respuesta correcta es, como veremos después, porque el mar que baña nuestras costas es frío. Hay que preguntarse luego ¿Por qué es frío? El Niño está relacionado con las respuestas a estas dos preguntas.

Posteriormente, entraremos a definir el término "El Niño" como se le conoce en términos modernos, para luego discutir El Niño de 1997, su desarrollo hasta la fecha y su estado actual. Es necesario poner este último en contexto con respecto a lo ocurrido históricamente, incluyendo El Niño del año 82-83, por lo que discutiremos también lo sucedido en el pasado y lo que sucedió en esa ocasión, 1982-83.

Hablaremos luego sobre el estado de la ciencia actual, en lo que a pronóstico se refiere; esto es sobre cuan capaz es la comunidad científica internacional y sobre qué somos capaces de hacer nosotros, los peruanos, sobre el particular. Lo último incluye el tipo de pronósticos que podemos hacer con respecto a los posibles daños y desastres que El Niño puede causar. Discutiremos la capacidad de pronóstico, primero a nivel global y luego a nivel local. Nos extenderemos un poco sobre dos puntos específicos a los que yo personalmente he dedicado más tiempo y esfuerzo. Desde ya les puedo avanzar que éstos esfuerzos no son suficientes. Debemos hacer mucho más que lo que yo les voy a mostrar.

* Instituto Geofísico del Perú
16 de julio de 1998

Tal vez, sea un buen momento para desligar responsabilidades institucionales. Soy Presidente Ejecutivo del Instituto Geofísico del Perú, pero estoy hablando como persona, como científico del Instituto Geofísico del Perú. Cuestiones científicas como ésta son muy sensibles, tienen repercusiones sociales y hay bastante de subjetividad y especulación. A lo mucho podemos hablar de probabilidades, lo que hay que tener muy en cuenta. No se le puede pedir a una institución que se pronuncie oficialmente sobre qué va a pasar en el futuro. Lo más que podemos hacer es consultar a nivel personal a cada científico para que se pronuncie sobre lo que él cree que va a suceder, por supuesto con la exigencia que dé sus argumentos y el sustento de sus pronósticos. Estos últimos deben ser acompañados de un pronunciamiento sobre el nivel de certidumbre de lo pronosticado.

¿Por qué no llueve en la costa peruana?

Primero, veamos las condiciones necesarias para que exista una lluvia tropical, una lluvia fuerte, un aguacero, un proceso de convección de penetración profunda, "deep convection" le llaman en inglés. Hablamos de lluvias con truenos y relámpagos, pues es éste tipo de lluvias el que nos amenaza. No estamos hablando de lloviznas cuando hablamos de las lluvias que amenazan al norte del Perú.

Cuando aquí hablemos de lluvias, estaremos refiriéndonos a lluvias de 60 a 150 mm por día, las que pueden ocurrir en sólo unas cuantas horas. Lluvias de este nivel significa que si dejáramos un vaso o una bandeja vacía en el techo de nuestras casas al final del día (o de las horas de lluvia) los tendríamos llenos de agua a un nivel de los 60 o 150 mm. Imagínense éstos niveles sobre toda una gran extensión superficial y podemos imaginar lo que esto significa en términos de caudales sobre las calles de las ciudades, o los ríos y quebradas que recolectan todo este gran volumen.

Para que llueva fuerte se necesita que la atmósfera sea inestable, ¿Qué significa esto? Una atmósfera es inestable cuando una parcela de aire a nivel de superficie, que se ha calentado un poco más que sus vecinos, empieza a ascender y no deja de hacerlo hasta alcanzar alturas sobre los 10-15 kms de altura. Al ascender los aires se expanden y enfrian. El enfriamiento produce la condensación de la humedad y la formación de una nube tipo "cumulo-nimbus" y eventualmente la lluvia, siguiendo un proceso que explicaremos a continuación.

El ascenso se debe a que aires calientes son más livianos que los fríos, y así como una burbuja de aire flota en el agua, una burbuja (debemos imaginar una burbuja de uno o varios kilómetros de diámetro) que es más caliente que el aire que lo rodea, flota también en ellos. Pero, la pregunta clave que diferencia una atmósfera inestable de una estable es ¿hasta qué altura seguirá flotando? Hay que recordar que la atmósfera que rodea a la parcela es también más fría a mayores alturas. La inestabilidad o estabilidad depende de quien se enfría más rápido, ¿la parcela? o el aire que lo rodea, y hasta que altura. Si al ascender encuentra que el aire que lo rodea es más frío, la parcela seguirá siendo más liviana y seguirá ascendiendo. Si esto sucede en todo el recorrido hasta llegar a 10 o más kilómetros de altura decimos que tenemos una atmósfera inestable. Estoy seguro que muchos de Uds. han tenido la suerte de observar nubes cumulo-nimbus al volar por El Caribe o en la cuenca amazónica. Al asomarse por la ventanilla del avión, las deben haber visto, algunas veces por encima de la altura del vuelo. Los aviones vuelan más o menos a unos 10 kilómetros de altura. Las nubes cumulo-nimbus en latitudes ecuatoriales, pueden llegar hasta los 18-20 kilómetros de altura. En la Figura 1 mostramos esquemáticamente una de éstas nubes y el esquema de un avión para dramatizar su altura.

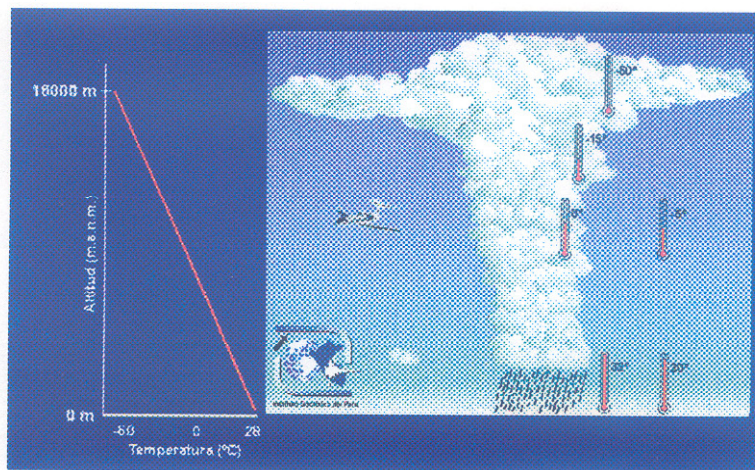


FIGURA 1

Cuando se dan estas condiciones, en el proceso de ascensión, el aire, se expande y enfría. Al enfriarse al nivel de la temperatura de rocío, la humedad, que siempre está presente en mayor o menor grado en forma de vapor de agua, se condensa y forma pequeñísimas gotas de agua. Estas son responsables de la apariencia opaca y blancuzca de las nubes; pero éstas todavía no precipitan ni producen lluvia. Eventualmente, estos mismos aires llegan , a alturas donde la temperatura es del orden de los -10° a -15° C. A estas alturas, la humedad restante se condensa en pequeños núcleos de hielo, los que le "roban" la humedad a las todavía pequeñas gotitas de agua y crecen , a costa de ellas, en forma de pequeños copos de nieve. Los copos de nieve eventualmente crecen lo suficiente y precipitan.. Al precipitar colicionan con otras partículas de agua, las que se congelan al contacto, y otros copos de nieve haciéndose cada vez más grandes y pesados. Eventualmente caen a niveles con temperaturas mayores que los 0 grados centígrados y se convierten de nieve a agua, ya en forma similar a las gotas de agua que llegan a la superficie. El proceso de caída continúa, ahora en forma más rápida. En el camino, las gotas que ya podemos llamar de lluvia barren las mismas gotitas de aguas que acaban de condensar, se engruesan y eventualmente llega una lluvia tropical al suelo. Cuanto más profundo es éste proceso de convección más fuerte es la lluvia. Notar en la Figura que estamos indicando una

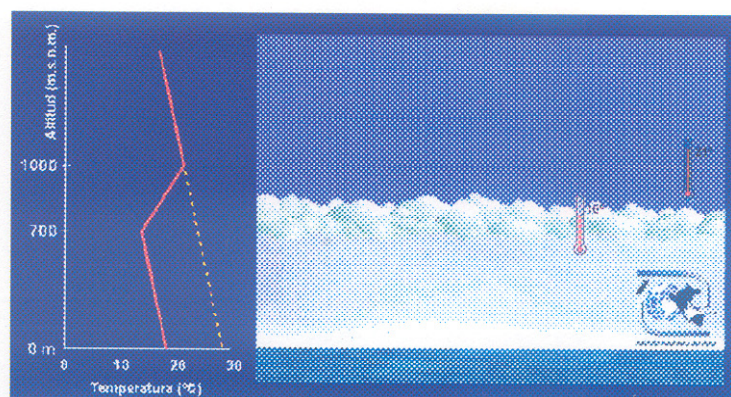


Figura 2 - Nubes bajas estratificadas limitadas en su ascenso por una inversión de temperatura.

temperatura a nivel de superficie de 28° C. Esta temperatura es crítica, si es que se da sobre la superficie del mar y costas cercanas, lo que mencionaremos frecuentemente después.

En el caso de la costa del Perú, tenemos normalmente una condición que no permite el crecimiento de éste tipo de nubes, decimos que existe una "inversión de temperatura" y que la atmósfera es "estable". La inversión de temperatura se ilustra en la Figura 2 con la existencia de

dos temperaturas a alturas contiguas, siendo más alta la de mayor altura, contrario al comportamiento normal: menores temperaturas a mayor altura. Esta inversión ocurre a lo largo de la costa peruana a una altura de aproximadamente 700-1000 metros sobre el nivel del mar. El salto en las temperaturas en la capa de inversión puede llegar a 15° C, por encima de las diferencias normales. Raros son los lugares en el mundo que muestran una inversión tan pronunciada. Esta inversión impide que una parcela de aire que nace en la superficie llegue más arriba de la altura de la temperatura de inversión. Cuando este aire, que está ascendiendo, quiere ascender un poco más no lo puede hacer pues encuentra que los aires circundantes son mucho más livianos por ser bastante más calientes. Decimos entonces que tenemos una atmósfera estable. Por debajo de los 1000 metros, desde muy cerca de la superficie, los aires están saturados de humedad. Le basta ascender unas pocas centenas de metros para tomar la temperatura de rocío y condensar, formando una nubosidad que termina bruscamente a la altura de la inversión. La brusquedad de la transición se puede observar muy claramente al descender en avión a Lima; es el conocido "colchón de nubes". Esta superficie es la altura máxima a la que pueden ascender los aires húmedos. El tamaño de las gotitas de agua que se forman, producto de la condensación, son tan pequeñas que no precipitan (si lo hacen producen la llamada garúa) y es por eso que no llueve en Lima. Puede haber lloviznas, hay garúa y neblina, pero no "llueve" en el sentido cabal de la palabra. En la costa norte, los aires son más secos, no existen garúas ni lloviznas de invierno, y con frecuencia no se forma el "colchón de nubes", pero la inversión de temperatura existe aunque no haya nubosidad que la ponga en evidencia. Esta inversión de temperatura deja de existir sólo en condiciones de El Niño, como veremos más adelante.

¿A qué se debe la inversión? Se debe a la temperatura baja del mar. Los aires por encima de los mil metros son tropicales, como los de cualquier país tropical; no están enterados de que por debajo hay un mar más frío que lo normal. Pero, los aires que están en contacto con el mar toman su temperatura, y no sólo éstos sino que, por turbulencia, los aires más bajos se mezclan con todos los aires que están en los primeros mil metros y comunican, se puede decir, la frialdad de la superficie del mar hasta los mil metros de altura. Allí se encuentran con los aires tropicales y no pueden ascender más. Tampoco pueden mezclarse con ellos. No hay manera de que la temperatura del mar comunique su temperatura a los aires tropicales por encima de esta altura y se forma la inversión.

Los aires por encima de los 1000 metros no difieren mucho de otros aires tropicales normales, por lo menos en temperatura (son tal vez más secos, por un proceso de subducción que no tenemos el espacio para elaborar). La gran diferencia, responsable de la estabilidad del aire y la inversión, está en las temperaturas más bajas en los niveles inferiores. Estas temperaturas se deben al hecho de estar en contacto con la superficie de un mar mucho más frío que las temperaturas que le corresponderían a una latitud tropical. En invierno frente a Lima, por ejemplo, las temperaturas del mar son del orden de los 15° C, esto es 13° C más bajo que los 28° C típicos de una latitud tropical. Para tener un perfil de temperatura como el que se muestra en la Figura 1 y llueva tropicalmente en Lima necesitaríamos que el mar se caliente unos 13° C sobre lo normal. Esta es una condición que nunca se ha dado y probablemente nunca se de. Este requerimiento se va debilitando conforme va uno hacia el norte, nos acercamos al verano y la temperatura en condición normal es cada vez más caliente. Esta condición se cumple bajo condiciones de El Niño, como veremos más adelante; la atmósfera se tropicaliza y llueve como en cualquier país tropical.

¿Por qué el mar es frío frente a las costas del Perú?

Muy bien, hay esta inversión de temperatura que impide la lluvia. La inversión se debe a su vez a que el mar es frío. Pero... ¿por qué el mar es frío frente a las costas del Perú? Si fueran ustedes alumnos de colegio, levantarían la mano y dirían "por la Corriente de Humboldt, señor profesor". Parcialmente cierto. La Corriente de Humboldt es importante pero juega un rol secundario en el enfriamiento de las aguas. Más importante que la Corriente de Humboldt es el proceso de afloramiento. Por lo que nos enseñaron en el colegio, tenemos la impresión de que las aguas son frías por la Corriente de Humboldt, que las aguas vienen desde la Antártida o a lo

largo de todo Chile, que son aguas frías que vienen como un río a lo largo de la costa del Perú y que enfrían nuestros mares. Esto no es correcto. Existe la corriente pero el agua es fría no porque venga del sur sino porque viene de las profundidades del mar sin exponerse, en esta forma, a un calentamiento prolongado de los rayos del sol.

El mar, tiene dos capas muy definidas, una parte superior, que se calienta con el sol y luego, por la turbulencia y la actividad de las olas y procesos físicos de mezclado, se mezclan y producen un engrosamiento que va desde los 20 hasta los 150 metros, según la región del mundo. Por debajo de esta capa hay un mar profundo con una temperatura mucho menor y bastante constante en todo el Pacífico. Esta segunda región tiene una temperatura de 15 grados aproximadamente en su parte superior y progresivamente menor conforme avanzamos en profundidad. A una cierta profundidad, hay un cambio brusco de regímenes de temperatura. Podemos hablar de las aguas que son calentadas por el sol y las que no. La superficie que separa estas dos aguas a diferentes temperaturas recibe el nombre de termoclina.

El dibujo esquemático mostrado en la Figura 3a muestra la costa peruana, los Andes y el viento alisio que sopla a lo largo de la costa casi paralela a los Andes. El viento sopla con esa misma velocidad cerca a la superficie del mar y es capaz de arrastrar el mar consigo y forma, hasta cierto punto, lo que conocemos como la Corriente de Humboldt. Una componente de ésta va de sur a norte, pero como consecuencia de la rotación de la Tierra, hay una fuerza, que se denomina de Coriolis, que hace que las aguas de la superficie se alejen en una dirección

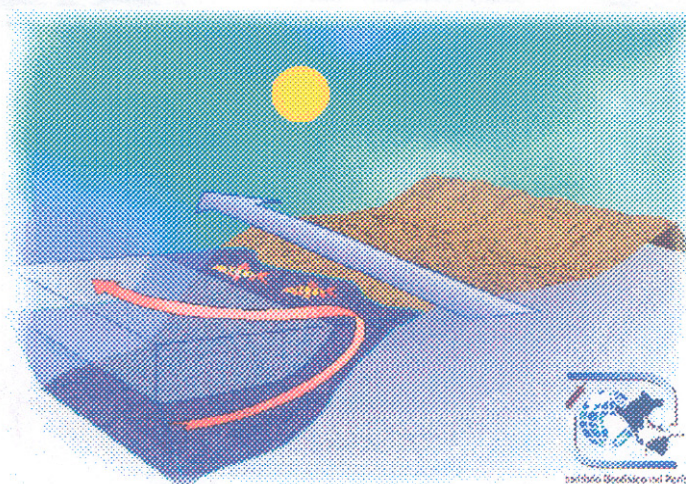


Figura 3a - Esquema mostrando la estructura de las aguas frías en tiempo de un No-Niño.

perpendicular al viento. Esta fuerza es parecida a la que sufre un trompo cuando está girando. Les habrá llamado tal vez la atención, que cuando inclinan Uds. un trompo éste en lugar de caer, simplemente se pone a precesar en una dirección perpendicular a la fuerza de la gravedad. Un proceso físico similar ocurre en la Tierra por su rotación; las aguas son empujadas en la misma dirección del viento, pero las aguas, en lugar de responder en esa dirección, tienen una componente que va de la costa hacia mar adentro. Esta componente es responsable del afloramiento; pues si las aguas que están cerca de la costa son retiradas, aunque sea lentamente hacia mar adentro, la costa no puede quedar seca. Las aguas retiradas son reemplazadas por aguas más profundas y frías. Esto es lo que se llama afloramiento, y es responsable que frente a las costas del Perú hayan aguas mucho más frías que las que le corresponden a su latitud. Dicho sea de paso, el hecho de que éstas aguas frías vengan de las profundidades es la razón por la cual el Perú tiene su gran riqueza pesquera, porque son aguas también muy ricas en nutrientes.

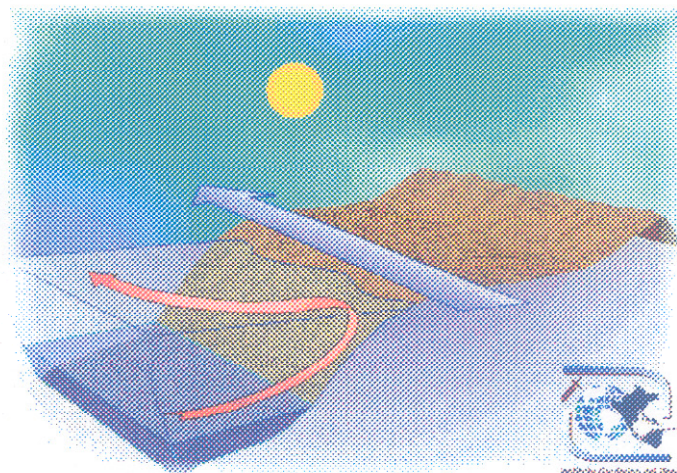


Figura 3b - Igual que 3a, pero durante condiciones de El Niño.

Temperaturas superficiales del Océano Pacífico ecuatorial en condiciones normales.

Muy bien, esas son las condiciones normales frente al Perú. Hemos discutido que a lo largo de la costa del Perú las aguas son más frías que la que le corresponden a su latitud. Veamos que ocurre en el resto del Pacífico. Normalmente si no hubieran vientos en la zona del Pacífico ecuatorial, ésta sería cálida en toda su extensión, por recibir los rayos del sol con mayor incidencia. Esperaríamos cierta homogeneidad desde el extremo Este al Oeste. Pero lo que verdaderamente ocurre en condiciones normales se ilustra esquemáticamente en el cuadro superior de la Figura 4 (Figura 4a). En éste se muestra la costa de América a un extremo y Australia e Indonesia al otro, el ecuador es la línea que está pintada al centro. Los vientos alisios que corren paralelos a la costa del Perú, hacen una curva más o menos a la altura de Punta Aguja hacia las Islas Galápagos donde luego toman un sentido que va de este a oeste en el resto del Pacífico ecuatorial. Podemos apreciar de la Figura que las temperaturas superficiales del mar son bastante más cálidas en el extremo Oeste que en el Este. Para ilustrar la diferencia, las aguas más cálidas se han pintado de rojo mientras que las más frías de todo azulado. Cuanto más oscuro el rojo más caliente y cuanto más azul más frío.

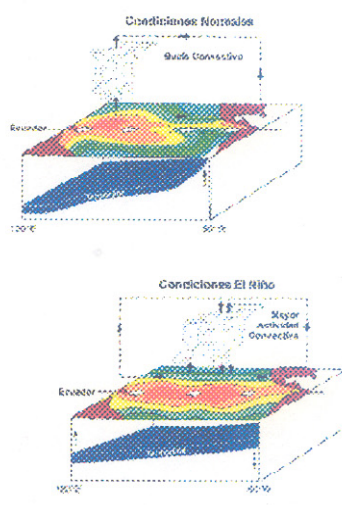


Figura 4 - Distribución de las temperaturas en el Pacífico ecuatorial durante condiciones normales (a) y El Niño (b).

Podemos apreciar pues que la distribución de temperaturas no es homogénea. Encontramos mayores temperaturas en el extremo occidental del Pacífico y menores en el oriental, frente a las

costas de Sudamérica. Esto se debe a la persistencia de los vientos alisios. Ya hemos visto como éstos hacen aflorar aguas frías frente a las costas peruanas, las que a su vez son arrastradas por la corriente de Humboldt y llevadas más allá de las Islas Galápagos. Las aguas superficiales en el ecuador oriental, si bien son también calentadas por el sol, son a su vez arrastradas por los vientos alisios, los que en estas latitudes soplan de este a oeste, y llevados al extremo occidental a las cercanías de Australia e Indonesia. Podemos decir que las aguas calientes, producidas por el calentamiento solar frente a América ecuatorial, son exportadas al otro extremo del océano, donde se acumulan. Esta acumulación produce un engrosamiento de la capa caliente por encima de la termoclina en este extremo a expensas de un adelgazamiento frente a las costas de Perú y Ecuador. La profundidad de la termoclina se ilustra con la superficie azul mostrada en el corte, la cual demarca la separación de las aguas calientes superficiales con las frías a profundidad. El menor peso de las aguas calientes superficiales hace también que exista una diferencia en el nivel del mar de unos cuantos decímetros entre los dos extremos, sostenidos por los vientos alisios. El nivel sube en el extremo occidental y baja frente a las costas de Sudamérica.

Las aguas calientes acumuladas en el extremo occidental del Pacífico juegan un papel importante durante la ocurrencia del fenómeno de El Niño. La existencia casi permanente de aguas por encima de los 28° C, incluyendo áreas extensas con temperaturas de 29° C y hasta de 30° C hace que esta zona sea altamente inestable como la descrita en la Figura 1. La región pintada de rojo oscuro es la región que más llueve en el mundo, lo que se ilustra en la Figura 4a como una gran actividad convectiva. Veamos a continuación que ocurre en condiciones de El Niño.

¿Qué ocurre en el Océano Pacífico durante El Niño?

Las condiciones durante un No-Niño que hemos descrito no son completamente estables ni rígidos. Existen fluctuaciones. La temperatura de hoy día no es exactamente la misma temperatura que la de mañana. Llueve hoy día, no llueve mañana. La temperatura del mar tiene un cierto valor un mes, y uno diferente el mes siguiente. En general hay fluctuaciones de un cierto nivel con todos los parámetros que defienden tanto el mar como la atmósfera. Llega un momento que por alguna razón estas fluctuaciones hacen que las aguas sean más calientes en una zona que no está en el extremo occidental, como por ejemplo, un poco más hacia el centro del Pacífico. Eso hace que llueva en una zona un poco más hacia el mismo centro; lo que a su vez, cambia el sistema de presiones (más bajas donde llueve) y hace que los vientos alisios amainen o que lleguen a soplar aún en direcciones contrarias a las normales. Al cesar los alisios que mantenían la acumulación de aguas en el Pacífico occidental, los desniveles mencionados, tanto de la superficie como de la termoclina, tratan de lograr su posición de equilibrio y las aguas calientes se desplazan hacia el este en forma de una onda (denominada de Kelvin). Esto hace que las aguas más calientes y profundas se desplacen más hacia al centro, lo que a su vez produce más lluvia en la zona central, formándose un círculo vicioso que acentúa la situación.

El resultado final de todo este proceso - lo que ocurre durante El Niño - es que esta actividad convectiva que estaba en el extremo oriental del Pacífico se desplaza hacia el centro del Pacífico. El desplazamiento de la sección más profunda de aguas calientes, en forma de onda, continúa por inercia más allá del Pacífico central e incide sobre la costa de Sudamérica. Aquí se produce un engrosamiento de la termoclina el que se propaga hacia el sur y el norte invadiendo con aguas calientes las costas del Perú (ver Figura 4b).

Súbitamente la costa del Perú, que tenía una termoclina relativamente poco profunda y aguas frías aflorando a la superficie frente a la costa, ahora en lugar de tener esas aguas tiene una capa de agua caliente, bastante gruesa, que fácilmente se mantiene en éstas condiciones pues su grosor y baja densidad impide el afloramiento de las aguas profundas y frías. El afloramiento sigue, pues los vientos alisios siguen soplando, como en las condiciones anteriores (los vientos en esta época del Niño, son hasta un poco más altos que en condiciones normales), pero en lugar de aguas frías afloran aguas también calientes (ver Figura 3b). Durante un Niño intenso la profundidad de la termoclina frente a las costas del Perú sobrepasa los 200 metros y la

temperatura superficial del mar sube varios grados por encima de lo normal. En la costa norte del Perú la superficie del mar alcanza temperaturas por encima de los 28° C, la inversión de temperatura se rompe, la atmósfera se desestabiliza y ocurren lluvias tropicales.

Debemos mencionar también que la aguas superficiales, ahora calidas y de origen tropical, son muy pobres en nutrientes. Estas no producen la misma cantidad de fitoplancton, base de toda una cadena alimenticia, que las aguas de afloramiento. La anchoveta y otras especies marinas que dependen de éste y de la cadena alimenticia que producen, emigran o mueren por inanición. Estos, ayudados por la sobrepesca, lo experimentamos dramáticamente con El Niño de 1972. La población de anchoveta se redujo a un 10% de la normal, y le tomó cerca de 10 años en recuperarse.

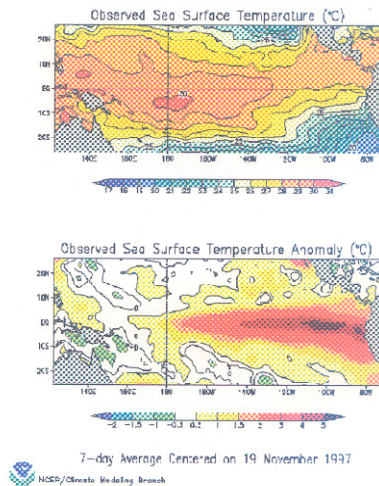


Figura 5 - Estado de las temperaturas superficiales del mar en el Pacífico durante El Niño de 1997-98 (Nov. 1998).

El cuadro que se muestra en la siguiente ayuda visual (Figura 5) ya no es una concepción artística; muestra la realidad de las temperaturas de la superficie del mar en todo el Pacífico ecuatorial. Su fecha: 19 de noviembre. Es maravilloso que hoy en día uno pueda sentarse frente a la computadora de su casa conectarse a Internet y enterarse de qué le está pasando a las temperaturas del mar en el Pacífico a lo largo de toda su extensión con sólo unos días de retraso. Y esto no se limita a lo que está sucediendo en la superficie. Si ustedes quieren y tienen interés pueden hacer cortes y saber qué profundidad tienen las aguas calientes en Indonesia y qué profundidad tienen cerca del Perú.

La Figura (5) muestra dos cuadros. El cuadro superior (5a) muestra las temperaturas superficiales del mar en todo el Pacífico ecuatorial. Los diferentes colores representan diferentes temperaturas. Los rojos indican las más calientes y los azules las más frías. La correspondencia exacta de la temperatura se lee en la escala en la parte inferior del cuadro. Las temperaturas a lo largo de la costa del Perú, en esta época, están entre los 21 y 25 grados. Estas temperaturas, a menos de que Uds. tengan gran familiaridad con su comportamiento normal, no nos dicen cuan anormales son. Esto se muestra en el cuadro inferior en términos de lo que se conoce como "Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar". Estas muestran la diferencia que hay entre la temperatura del mar del momento con la temperatura que normalmente existe en esa época del año en ese lugar.

Podemos considerar las anomalías en la misma forma que consideramos las líneas de fiebre en una persona. Cuando hablamos de fiebre decimos que una persona tiene 39 grados o decimos que tiene 2 líneas de fiebre. Las anomalías son las líneas de fiebre que tiene el mar en los diferentes lugares, en este caso para esta fecha específica del 19 de noviembre. Pero a diferencia de un ser humano que siempre tiene 37° C como temperatura normal, la temperatura normal de

la superficie del mar varía con el lugar y la estación del año.

Podemos observar en la Figura 5b una gran mancha granate oscuro, indicando anomalías en la temperatura de +5°C frente a las costas de Ecuador y norte del Perú. Esto es indicativo de un Niño intenso. Cuando no hay Niño, cuando las condiciones son normales todo el Pacífico debería estar pintado de blanco. Podemos apreciar la intensidad del fenómeno que estamos experimentando considerando que basta la existencia de temperaturas de sólo 2 grados de anomalía para definir la presencia del Fenómeno El Niño, aunque débil.

Es interesante notar también la extensión de la superficie con temperaturas anormalmente altas. Estas se extienden desde las costas de Sudamérica hasta la línea de la fecha a 180° Oeste, esto es tienen una extensión de cerca de 100° de longitud que corresponden a cerca de 11,000 km. la cuarta parte del perímetro terrestre. El Niño ya dejó pues de ser algo que sólo los sechuranos y paiteños conocían. Hoy en día se le considera tal como en realidad es, como un fenómeno global. Si bien no tenemos una figura similar para el año 1983 ésta extensión e intensidad es comparable a lo ocurrido en ese año. Pero todavía no llueve. La razón es que no basta una anomalía fuerte, lo importante es la temperatura absoluta y como se puede apreciar en el recuadro superior ésta no llega todavía a los 28°C. A diferencia de las personas, la temperatura normal del mar, sobre las que se añade las anomalías (fiebre) no es constante, depende del lugar y la estación del año. Si bien el estado actual de El Niño es el de un El Niño intenso, tenemos la suerte de que se ha adelantado y los 5°C de anomalía en Noviembre no producen todavía temperaturas de 28 grados o mayores como lo podría hacer en verano, cuando la temperatura normal es más alta. Hemos incluido en la Figura dos cuadros adicionales que si bien no estaban disponibles durante mi exposición ilustran muy bien lo que ocurre con la temperatura superficial del mar durante un Niño intenso como el ocurrido en 1997-98. Las temperaturas han sido obtenidas por medio de satélites y son una cortesía del Naval Oceanographic Office del Naval Meteorological and Oceanographic Command (NAVO/NMOC-USA). Las temperaturas en la Figura 6b corresponde a la época pico de máxima incursión de aguas calientes correspondiente al promedio de los últimos siete días anteriores a Febrero 1998. La figura 6a corresponde a una época más reciente y corresponde a una situación casi normal. En ésta última se ilustra muy bien el proceso de afloramiento responsable de las aguas frías (verdes y celestes) cercanas a la línea de costa. La historia semana a semana, con imágenes similares, correspondientes a El Niño 1997-1998 pueden ser vistas en nuestra página web (<http://www.igp.gob.pe>). Veamos ahora este Niño en el contexto de experiencias pasadas.

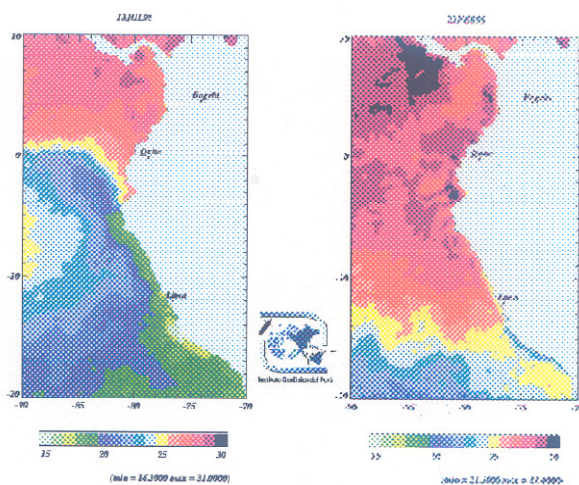


Figura 6 - Estado de las temperaturas superficiales del mar frente a las costas del Perú bajo condiciones de No-Niño (izquierda) y Niño (derecha).

El Niño 1997 en el contexto de fenómenos El Niño anteriores.

No hay mejor lugar para hacer comparaciones de temperatura del mar con tiempos pasados que la temperatura del puerto de Chicama. Chicama, tiene registros continuos de temperaturas del mar desde hace cerca de 75 años. En la Figura 7 se muestran sólo, por claridad, aquellos correspondientes a Niños importantes, aquellos que durante algún mes hayan sobrepasado los 3.5°C de anomalía, o 2.5°C en invierno. Se grafica el promedio mensual de la anomalía de la temperatura mes a mes. Notar que los gráficos se inician en octubre de un año hasta setiembre del año siguiente. En esta forma se muestra en forma continua y central la época más interesante del año que es el verano. Un año normal se muestra con valores cercanos al cero. La mayoría de los otros años que no se muestran aquí se mantienen dentro de un rango de más o menos 1 a 1.5°C. De los mostrados, aquellos que sobrepasan los 4°C podemos calificarlos como Niños intensos, y como medianos los que sobrepasan los 3°C.

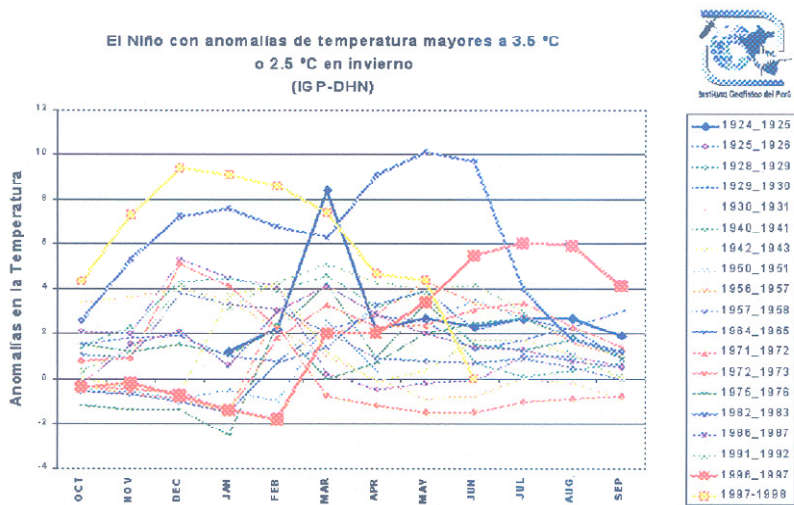


Figura 7 - Temperaturas del mar en el puerto de Chicama durante los fenómenos El Niño más importantes de los últimos 75 años.

Si ignoramos por el momento lo ocurrido en 1997 y 1998. Nota: hemos aprovechado aquí la fecha de la publicación de esta conferencia para complementar el gráfico con mediciones más recientes que no existían a la fecha de presentación) marcados con cuadrados grandes rojos y amarillos, sobresalen en forma muy conspicua las temperaturas que tuvo el mar en Chicama el año 82-83 (en azul). Mientras las temperaturas de los Niños fuertes, como los correspondientes a los años 72, 87, el 92 y muchos otros --- que tal vez ustedes conocen --- llegan a duras penas a los 4, a veces 5°C, en abril de 1983 en Chicama la temperatura del mar excedió los 10°C por encima de lo normal, varias veces la anomalía en temperatura experimentada en muchos de los años que el El Niño se hizo presente, incluyendo los que consideramos como El Niño fuertes.

Otra temperatura que se destaca es la correspondiente al año 1925, año que hasta la ocurrencia de El Niño de 1983 rompía todos los records de lluvias en los recuerdos de nuestros mayores en la zona norte del país. Está todavía en mis propios recuerdos de juventud en Piura la conversación de mis padres y amigos en los primeros meses de verano: “¿Lloverá o no lloverá?”. Y cuando se iniciaban las lluvias y éstas se ponían fuertes, el tema variaba “¿Lloverá como en 1925? Porque en el año 25...” En estos meses el tema es muy similar, con la diferencia que el 25 ha sido reemplazado por el 83. Podemos apreciar en el gráfico que efectivamente el año 1925 fue un año excepcional, pero sólomente por un mes, abril, donde las temperaturas alcanzaron los 8°C sobre lo normal. Abril fue efectivamente el mes más lluvioso.

La Figura 7 muestra también lo extraordinario que son las temperaturas experimentadas estos últimos meses de 1997. Este año se presentó en sus inicios como un año más frío que lo normal. De un año que se presentaba frío, súbitamente subió la temperatura y llegó a niveles récord.

Cuando ustedes escuchen que éste es tal vez el Niño más grande de la historia se debe a que efectivamente en los meses pasados de julio, agosto, las anomalías de la temperatura del mar en la costa del Perú fueron mucho mayores a cualquier otro año anterior, incluyendo el 83. Muestra también temperaturas más altas que las experimentadas durante El Niño de 1972-73, famoso por la desaparición casi completa de la anchoveta frente a las costas del Perú. Nunca en la historia mostrada en los registros de Chicama se han experimentado anomalías de 6° C en los meses de Julio y Agosto de 1997. Estas son superiores a las temperaturas récord ostentadas para esta época por los años 1983 y 1972. Es dos veces más alta en Agosto que la anomalía experimentada en el famoso Niño de 1972-73 que tanto estrago causó a la pesca en el Perú. Felizmente son anomalías récord fuera de la época de lluvias, con temperaturas absolutas todavía lejos de producir lluvias en la zona norte del país, pero que están produciendo ya consecuencias en la pesca, la industria textil y en la producción agrícola de productos que requieren temperaturas bajas en invierno, un invierno que ha brillado por su ausencia. Tal como explicamos anteriormente, la temperatura ambiental de la costa, por debajo de la inversión, esta controlada por la temperatura del mar frente a ésta, por lo que a estas temperaturas récord del mar en invierno y primavera le corresponden igualmente temperaturas récord en el ambiente.

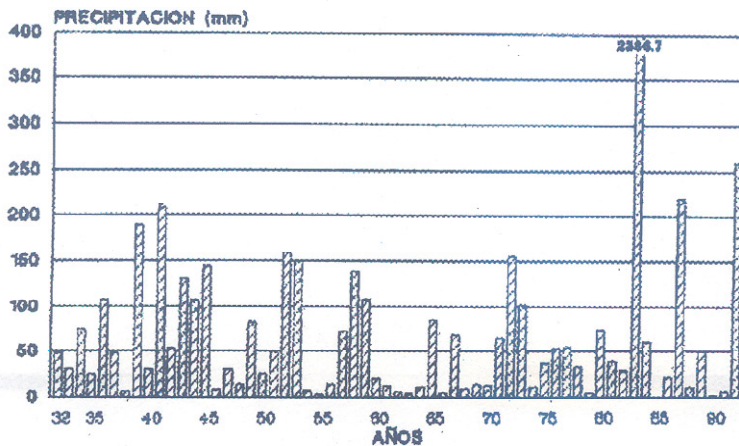
Si bien la anomalía en la temperatura del mar en Chicama durante 1983 es impresionante, al Niño de 1983 lo recordamos más por el gran nivel de precipitación que trajo en la zona Norte del Perú. Son las precipitaciones en el norte lo que más nos preocupa, por lo que es importante discutir los niveles alcanzados ese año en un contexto histórico.

Si Chicama es el lugar apropiado para el estudio histórico de las manifestaciones marinas del Fenómeno de El Niño, Piura lo es para el estudio de las precipitaciones, con la ventaja que observaciones históricas de las lluvias se remontan a la época de su fundación. Hay que recordar que Piura fue la primera ciudad fundada por los españoles al sur de Panamá, en 1532, y que la denominación de El Niño (por el Niño Dios) viene de la observación de los pescadores sechuranos y paiteños quienes bautizaron la corriente de aguas calientes provenientes del norte en épocas de Navidad con el mismo nombre. Pero es importante resaltar que las dos expresiones "Corriente de El Niño" y "Fenómeno de El Niño" no son sinónimas. La primera es más local y la mas antigua; se refiere a la corriente que observaron los sechuranos. La segunda es relativamente moderna y se reserva para denominar el fenómeno global que involucra todo el Océano Pacífico ecuatorial que explicamos anteriormente.

La ocurrencia de grandes lluvias han sido registradas en la tradición piurana desde su fundación y recopiladas por Víctor Eguiguren [1] en 1894. Eguiguren es una fuente importante para lo ocurrido en el siglo XIX ya que recopila en forma semicuantitativa las lluvias de ese siglo hasta el famoso Niño de 1891. El suscrito hizo una recopilación histórica [2] poco después de las lluvias de 1983, las que fueron complementadas con datos más recientes y nuevas fuentes por Mabres y Woodman [3] en 1992. Como consecuencia de los estudios mencionados se llega a la conclusión que nunca en la historia de la ciudad hubieron lluvias tan intensas como las de 1983. Esta aseveración se hace más valedera para los últimos dos siglos, durante los cuales sólo el año 1925 seguido por 1891 (el más intenso del siglo pasado [1]) compiten para ganarse el calificativo de fenómenos El Niño extraordinarios. Aún así, se estima que las precipitaciones acumuladas anuales en 1925 no llegaron ni a la mitad de las habidas en 1983 [2].

La ocurrencia tan reciente de las lluvias de 1983 y la gran cobertura que éstas tuvieron en la prensa y televisión, tanto a nivel nacional e internacional, hace que se confundan las manifestaciones de un fenómeno El Niño normal con las de un Niño "extraordinario". Tengo la impresión que muchos peruanos confunden hoy en día el Fenómeno de El Niño con lo ocurrido en 1983. Fenómenos El Niño ocurren con un lapso de recurrencia de unos 4 a 7 años. Cuando ocurre El Niño el clima del norte se tropicaliza y llueve, pero no necesariamente al nivel desastroso de 1983. El gráfico de la Figura 8 muestra, en milímetros anuales, las lluvias acumuladas en la ciudad de Piura desde 1932. Se ha escogido una escala máxima de 400 mm para poder mostrar en forma visible la precipitación de sólo unos cuantos milímetros alcanzada en muchos de los años secos, pero ésta resulta insuficiente para mostrar las lluvias

acumuladas en 1983 las cuales llegaron a ¡2387 mm !. Para poderlas representar en la misma escala necesitaríamos un gráfico tan alto que llegaría a la altura de la cúpula del Congreso. El gráfico incluye varios años calificados como El Niño, todos aquellos con precipitaciones acumuladas por encima de los 135 mm, algunos de ellos muy lluviosos, como el año 41, el 87 y el 92, pero como se puede apreciar lejos de llegar al nivel de 1983. El promedio de las precipitaciones en la ciudad de Piura, incluyendo años El Niño, es de sólo 50 mm anuales, por lo que las lluvias de 1983 fueron aproximadamente cincuenta veces más intensas que el promedio. Dudo exista un lugar en el mundo en el que se haya presentado una precipitación que difiera tanto del comportamiento normal.



Estación: CORPAC-PIURA (5 12'S, 80 37'O)
 60-54: Datos de la Estación San Miguel-Catacaos (5 14'S, 80 41'O)

Datos pluviométricos de Piura y EL Alto (al norte de Talara)

Figura 8 - Precipitaciones en la ciudad de Piura desde 1932 al 1992.

Los Lagos y Lagunas de Sechura

No podemos hablar de los Niños excepcionales sin hacer mención de los grandes lagos y lagunas que se forman en el desierto de Sechura con su ocurrencia. Esto es un ejemplo de una consecuencia muy dramática del alto nivel de las precipitaciones pero felizmente sin producir daños por su existencia. Estos más bien le dan una ocupación alternativa a los pescadores de Sechura, Morrope y Lambayeque que se ven afectados con la carencia de las especies acostumbradas en el mar, pero compensados con la aparición en los lagos de lisa, langostino y camarón. Estos también constituyen un potencial para actividades de turismo internacional como el windsurf, sky acuático, remo y otras actividades náuticas que se podría explotar.

En la Figura 9 se muestra una fotografía satelital tomada el 29 de mayo de 1998 y su interpretación. La imagen muestra la unión de varios lagos y lagunas que generalmente se forman en años de fuertes lluvias, esta vez, al igual que el año 1983, dándole continuidad desde el extremo sur del lago de las Salinas de Morrope hasta las lagunas de Ramón y Napique en el extremo sur del Bajo Piura, con una extensión total de cerca de 200 km en la dirección NS y de 25 km en la transversal, convirtiéndolo en el segundo lago en Sudamérica después del Titicaca. Los lagos se unen con el permanente estuario de Virrila, el cual se convierte en un río, único desagüero que impide que tomen mayor nivel.

Es interesante mencionar también el lago que se forma en el seno de la Gran Depresión (-34 metros bajo el nivel del mar), de singular belleza, con la Gran Duna en el centro de este gran espejo de agua. Este se forma solamente con las lluvias locales y algunas quebradas del cerro Illescas, ya que se encuentra desconectado de las aguas que provienen de la vertiente occidental de los Andes.

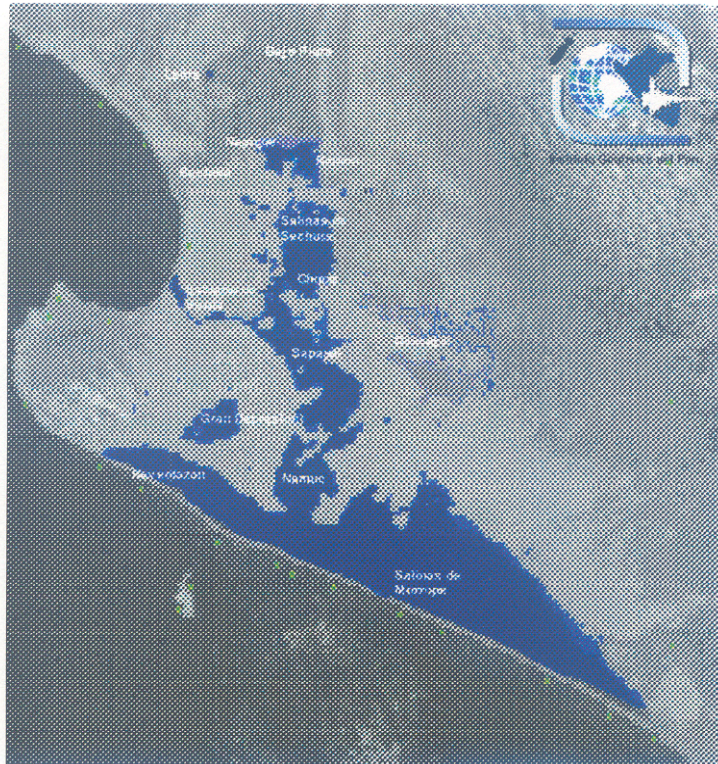


FIGURA 9

Desafortunadamente, con excepción de las lagunas de Ramón y Napique la duración de los lagos es de uno a dos años, la que se podría extender con diques de arena en los dos brazos entrantes al estuario de Virrila y cerrando la quebrada de Namuc, que une el lago de las Salinas de Morrope y Reventazón con el lago de las Salinas de Sechura, Sapayal y el Chocol. Aun así, eventualmente secarían, pues la evaporación es muy rápida, cerca de 1 cm por día (comunicación personal Ing. Absalón Aguilar, Mina de Fosfatos) en días ventosos de verano.

Hay algo muy importante que debemos tener en cuenta: La naturaleza generalmente recurre en hacer algo excepcional en forma muy infrecuente. Desde el punto de vista probabilístico, sin conocer mucho de la física de El Niño, para que vuelva a ocurrir un año como en el 83 deberíamos pues esperar nuevamente los aproximadamente 450 años o más de recurrencia; no es una regla, pero es una manera de apreciar en sí las probabilidades de que vuelva a ocurrir cuando se desconoce el resto de los elementos. Por otro lado, nuestro conocimiento sobre los procesos físicos responsables del fenómeno de El Niño han mejorado muchísimo en los últimos años y estamos en posición de predecir su comportamiento con bastante exactitud, sobre todo para pronósticos de sólo unos cuantos meses de anticipación. Esto nos trae al tema sobre pronósticos de la ocurrencia e intensidad de fenómenos El Niño y de su posible impacto a nivel nacional.

Pronósticos de El Niño

Hoy en día tenemos la suerte no solamente de contar con la información de lo que ocurre con las temperaturas del mar y otras variables meteorológicas al momento y en todo el globo terrestre, sino también con los resultados de los esfuerzos de pronóstico que se hacen en los grandes laboratorios de investigación del mundo entero. Toda esta información esta a nuestra disposición a sólo días después de su evaluación. Esta es una información valiosísima para la toma de decisiones de cualquier programa de prevención y es consecuencia de los grandes esfuerzos destinados a la comprensión de El Niño llevado a cabo en los últimos años y al maravilloso desarrollo de la Internet.

Desde hace unos años, después del año 72, cuando desaparece la anchoveta y produce impactos

económicos de consecuencias graves en los mercados de las proteínas baratas, se despierta un gran interés en los países desarrollados por estudiar El Niño. Aunque todavía no se conocía el carácter tan global de éste, era claro que sus impactos económicos lo eran. A partir de ese entonces universidades, investigadores e instituciones de investigación empiezan hacer estudios sobre el fenómeno. A nivel nacional, IMARPE, DHN (Marina) y el IGP también inician o incrementan sus esfuerzos por comprenderlo.

El interés por El Niño se intensifica después del año 1983. La intensidad del fenómeno alcanzada durante ese año pone por primera vez en evidencia la naturaleza global de éste. No solamente hubo grandes lluvias en el norte del Perú, sino que hubo sequía en Australia, ciclones en el Pacífico frente a las costas de los Estados Unidos produciendo daño, una disminución de los huracanes en El Caribe y muchos otros cambios climáticos muy conspicuos en una serie de otros lugares del mundo. Como consecuencia de todos esos estudios, de la era espacial, de las posibilidades de observar al mar desde los satélites, de las boyas automáticas y de otros desarrollos tecnológicos hay hoy en día una cantidad inmensa de información sobre el estado del mar y de los vientos en todo momento; lo que permite, por medio de modelos matemáticos y el conocimiento de los procesos físicos involucrados, predecir lo que va a pasar en el futuro. Un modelo matemático es una especie de bola de cristal computarizada, pero que en lugar de magia hace uso de la información que se le proporciona sobre el presente estado del océano y la atmósfera y de las leyes físicas que los rigen para predecir el futuro.

Los mismos argumentos que yo les daba cualitativamente hace un momento, de por qué el agua es fría frente a las costas del Perú, de por qué aguas más calientes se acumulan al otro lado, todo esto y mucho más se puede calcular cuantitativamente con un modelo matemático. Existen varios modelos desarrollados por diferentes centros de investigación. Uno de los mejores, con el mayor éxito en el pronóstico de El Niño es el desarrollado por el NCEP-NOAA (siglas del nombre en inglés de el National Environmental Prediction Center de la National Oceanographic and Atmospheric Agency de los EE.UU. de América). Este modelo hace uso de supercomputadoras y acopla dos modelos de gran complejidad que anteriormente se usaban por separado para pronosticar el comportamiento de la atmósfera y de los océanos a nivel global. Se le conoce también como el modelo de océano-atmósfera acoplado. Nosotros nos limitaremos a discutir la metodología y resultados de sólo este modelo.

La NOAA es una agencia de investigación y servicios similar a la NASA. Mientras la segunda se encarga de asuntos espaciales, la NOAA lo hace para asuntos oceanográficos y atmosféricos. Es la misma agencia que publica los mapas de la temperatura superficial del Pacífico ecuatorial que hemos visto anteriormente.

El producto principal que sale de este modelo es la temperatura del mar en el futuro. De estas las más importantes son las temperaturas superficiales, pues son las que definen, hasta cierto punto, todo el resto de fenómenos, incluyendo los meteorológicos (sin ignorar los efectos que tienen éstos sobre lo anterior). Estas predicciones están disponibles, para quien le interese, en Internet. Cualquiera de ustedes que tengan acceso a una computadora, pueden visitar la página web de NCEP-NOAA y obtener un diagrama como el que se muestra en la Figura 10. El pronóstico ha sido evacuado hace sólo una semana, el 19 de noviembre. En este se muestra los pronósticos para los 3, 6 y 9 meses posteriores a la fecha, en este caso agrupados en promedios de 3 meses a la vez. Esto lo hacemos para ahorrar espacio, pues es posible conseguir pronósticos similares mes a mes.

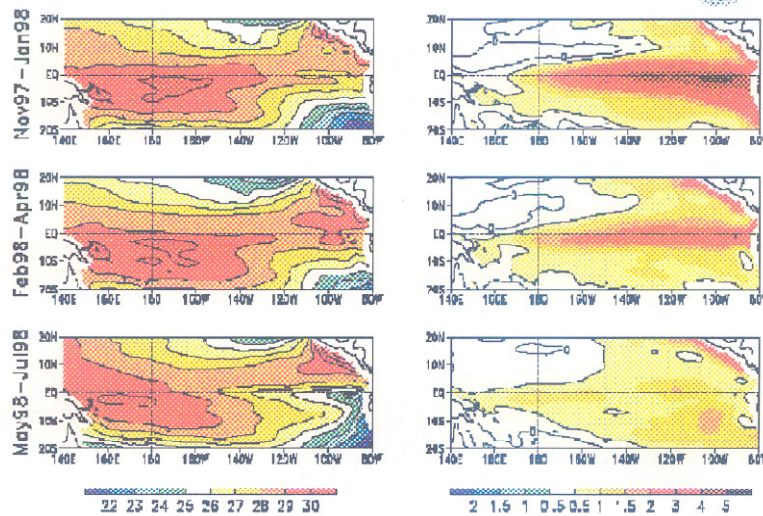


Figura 10 - Pronóstico de las temperaturas superficiales del mar y las correspondientes anomalías evacuado a inicios de Noviembre de 1997.

Se muestran dos series en la Figura 10. Los de la izquierda muestran la temperatura absoluta y en los de la derecha las desviaciones (anomalías) con respecto a lo normal. La Figura muestra un detalle que fácilmente puede llevar a una interpretación errónea: aparentemente, a juzgar por las anomalías, El Niño se habrá debilitado en los meses de febrero-abril. Efectivamente esto puede suceder pero no significa que las lluvias sean menores. Si analizamos las temperaturas absolutas en el cuadro derecho correspondiente notamos que éstas son mayores que las anteriores. La razón está en que la temperatura normal es más alta para esos meses, la que --- aún con una anomalía menor--- hace que la suma sea mayor. Como fuera que las lluvias dependen del nivel de la temperatura absoluta y no de la anomalía debemos esperar mayores lluvias en ese trimestre que en el anterior.

Lluvias en Piura vs Temperatura frente a Paíta

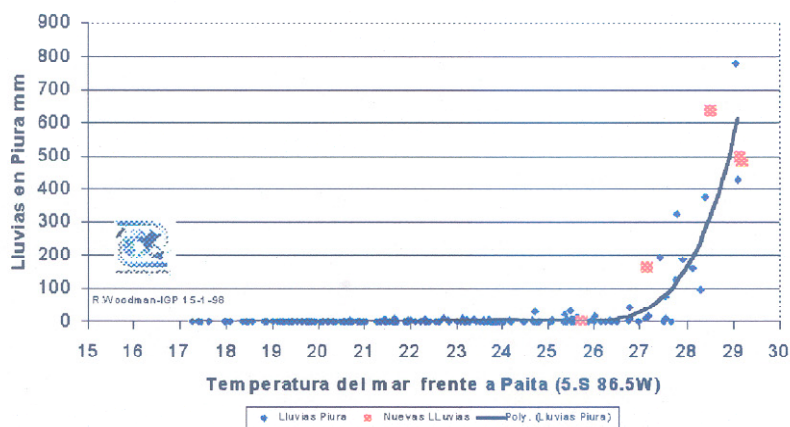


Figura 11 - Relación empírica entre la temperatura superficial del mar frente a Paíta (5 S 86.5 O) y las lluvias en Piura.

Los pronósticos evacuados por NCEP-NOAA nos dan valores de las temperaturas frente a nuestras costas, pero no nos dicen nada respecto a las precipitaciones, que son las que más interesan. Este es un trabajo que nos corresponde a nosotros, los peruanos, hacer. Felizmente existe una relación estrecha entre la temperatura del mar frente a nuestras costas y las precipitaciones, la que nos permite pasar de una a la otra. Esta va más allá de ser una relación cualitativa como la descrita al inicio de ésta exposición. La Figura 11 nos muestra esta relación para un lugar específico: la ciudad de Piura. En el diagrama hemos graficado la precipitación

acumulada mensual en Piura correspondiente a la temperatura del mar en un lugar frente a su costa. En éste se ha dibujado un punto para cada mes a partir de 1982. Hay aproximadamente 180 puntos en total. Cada punto muestra la temperatura y la precipitación experimentadas en cada mes. Podemos apreciar que éstos se agrupan a lo largo de una curva que podemos interpretar como la ley numérica que relaciona a una con la otra. La primera conclusión que resulta de la observación del gráfico es que, salvo una pocas excepciones con precipitaciones de 30 mm mensuales o menos, en la ciudad de Piura no llueve si la temperatura del mar en el punto escogido es 27°C o menos. El mayor número de puntos caen en este régimen y es la razón por la que decimos que el clima normal de Piura corresponde al de un desierto. La situación cambia drásticamente cuando esta misma temperatura llega a 28°C . A este nivel podemos decir que el clima se tropicaliza y llueve en abundancia. Cuando la temperatura llega a 29°C como lo hizo en 1983, los niveles de precipitación llegan a niveles cercanos a los 800 mm mensuales, los que resultan desastrosos en una ciudad como Piura que no está preparada para ello. La información pasada, puesta en forma de esta relación empírica, nos permite estimar las precipitaciones futuras si se predice la temperatura superficial del mar.

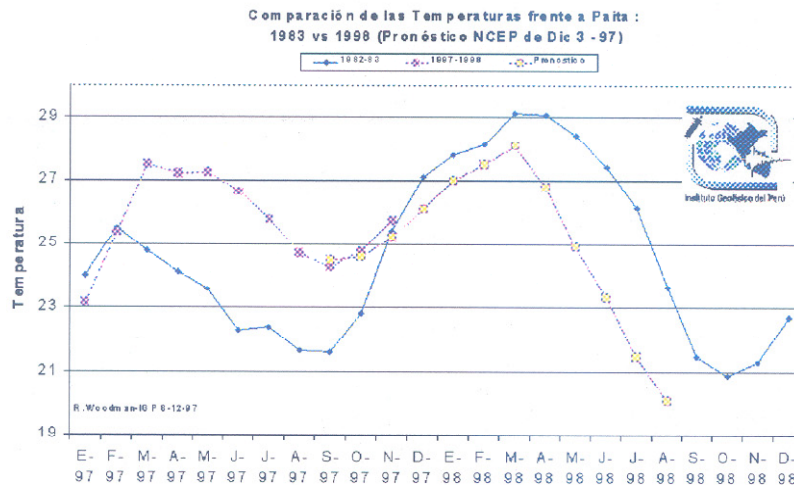


Figura 12 - Pronóstico de la temperatura del mar frente a Paita evacuado en Noviembre de 1997.

La Figura 12 muestra las temperaturas experimentadas hasta el presente y las predichas por el modelo numérico de NCEP-NOAA para el mismo punto frente a las costas de Paita usados en la Figura 10. El punto está a unos 400 kms frente a Paita y corresponde al punto más cercano para el que hay pronósticos confiables del modelo. El punto no está tan cerca como hubiera sido deseable, pero el modelo matemático encuentra dificultades de pronosticar temperaturas más cercanas a la costa. Esto se debe a la estructura relativamente fina que se produce en las temperaturas cerca de la costa como resultado del afloramiento. Felizmente, durante un Niño, no hay afloramiento de aguas frías y la distancia no parece ser un problema, como lo muestra la buena correlación que se ilustra en la Figura 11.

En la misma Figura 12 hemos graficado las temperaturas correspondientes medidas en 1983. Como se podrá apreciar, las temperaturas predichas por NCEP-NOAA no llegan a los niveles (desastrosos) experimentados en 1983. Las predicciones de NOAA y la curva empírica mostrada en la Figura 10 nos permiten hacer un pronóstico de las lluvias en la ciudad de Piura. De acuerdo a la curva empírica a las temperaturas predichas le corresponderán precipitaciones típicas de un Niño fuerte pero sin llegar a los niveles excepcionales de 1983. El pronóstico no debe tomarse como una adivinación. El modelo de NCEP no es exacto y la Figura 11 muestra también una dispersión de los niveles de precipitación por encima y debajo de la curva empírica que mejor se le aproxima (ver discusión sobre los pronósticos y valores reales experimentados

en la última sección).

Podemos y deberíamos hacer un diagrama similar al de la Figura 11 para otros lugares de la República. Este esfuerzo está en nuestros planes pero por ahora nos hemos limitado a Piura, con la idea que las intensidades relativas de las precipitaciones en otros lugares de la costa serán proporcionales a lo que ocurra en Piura según las propias experiencias de estos otros lugares en años anteriores. Por ejemplo, basados en experiencias pasadas es de esperar que las lluvias se intensifiquen rápidamente hacia el Norte (Tumbes) y las montañas aledañas al desierto costero. Estas deben ser menores hacia el sur.

El umbral de 27 y 28°C en la temperatura superficial del mar para la ocurrencia de lluvias mencionado anteriormente vale sólo para lugares con niveles cercanos al nivel del mar. Ante la ocurrencia de un Niño, llueve entre los 1000 y 3000 m de altura de la vertiente occidental de los Andes, en la zona norte y central del país, con temperaturas superficiales del mar uno o dos grados centígrados menos de los que se requiere a nivel del mar. Esta es la región con mayor riesgo de huaycos, los que junto con las inundaciones del norte son las zonas que más preocupan por la amenaza de pérdidas de vida, propiedad e infraestructura valiosa.

Con excepción de Puno, no existe una relación estadística clara entre El Niño y la precipitación en la zona central y vertiente oriental de los Andes, por lo que las predicciones de la temperatura del mar frente a nuestras costas no nos permiten hacer un pronóstico sobre las precipitaciones en esta zona. Esto es explicable en términos físicos, ya que éstas regiones del país no tienen una comunicación directa con las variaciones de la temperatura de la costa. Los aires y humedad a las que están expuestos provienen de la cuenca atlántica de América. Si hay algún efecto, se debe a lo que se conoce como "teleconexión" entre los disturbios atmosféricos en el centro del Pacífico ecuatorial y el clima en diferentes partes del globo. En el caso de Puno, por ejemplo, se notó una correlación negativa (sequía) con El Niño de 1983, pero la relación no es muy clara con eventos de menor intensidad.

Es fácil saltar a conclusiones erróneas cuando ocurren fenómenos meteorológicos concurrentes con El Niño. Hay la tendencia a echarle la culpa a El Niño por todas las variaciones climáticas que ocurren, sin tener en cuenta que éstas pueden ocurrir independientemente de éste. No se puede generalizar con lo ocurrido en un sólo año, menos aún con lo ocurrido en una sola ocasión. Se sabe que El Niño modifica dramáticamente el clima de la zona aledaña al mar al hacer desaparecer la inversión de temperatura. Pero, fuera de esta región de influencia, el efecto en otros lugares no es tan conspicua ni dramática.

Al Fenómeno El Niño se le denomina también ENSO, por las siglas en inglés de El Niño - Southern Oscillation (Oscilación del Sur). Mientras El Niño se refiere a la parte oceanográfica, la Oscilación del Sur se refiere a un fenómeno meteorológico global del que sólo recientemente se ha descubierto su relación con el anterior. Se trata de una oscilación de las presiones atmosféricas entre dos lugares del Pacífico caracterizada por las mediciones hechas en Darwin (Australia) y Tahiti. Las teleconexiones están más relacionadas al segundo fenómeno que al primero.

Hoy en día se sabe que El Niño (ENSO) también modifica el clima en otras partes del globo a través de la "teleconexión". Las razones físicas para lo segundo no son tan obvias, pero están relacionadas más con los disturbios atmosféricos globales (sistema global de presiones) producidos por el cambio en la posición e intensidad de la gran actividad convectiva en el centro y poniente del Pacífico ecuatorial (ver Figura 4) que con las temperaturas del mar frente a las costas de América. Tienen más relación con el "SO" de ENSO que con el "EN". En algunos lugares produce lluvias y en otras sequías, pero para llegar a conclusiones científicas válidas que nos permitan predecir en que sentido va a variar el clima (si lo hace) necesitamos un estudio estadístico que tenga en cuenta toda la historia pasada del clima en estos lugares y de como fue afectada por Niños anteriores. En la sierra y montaña del Perú estos estudios se han hecho sólo para la región de Puno [Pablo Lagos, del IGP, comunicación personal]. El efecto predecible en otras partes estudiadas de América occidental se muestra en el mapa de la Figura 13. Este mapa es producto de

las conclusiones de una reunión internacional de expertos convocada en Lima en Octubre de 1997. La terna de números que se muestran en cada región coloreada corresponde a las probabilidades, en porcentaje, de que las lluvias sean menores, iguales o mayores a lo normal. Es claro que en muchas regiones los pronósticos no son muy contundentes. Las zonas que no han sido coloreadas muestran las regiones que se han mostrado indiferentes al Niño en el pasado, esto es son regiones con probabilidades de 33, 33 y 33% para que ocurran cada uno de los tres regímenes de lluvias mencionados, respectivamente.

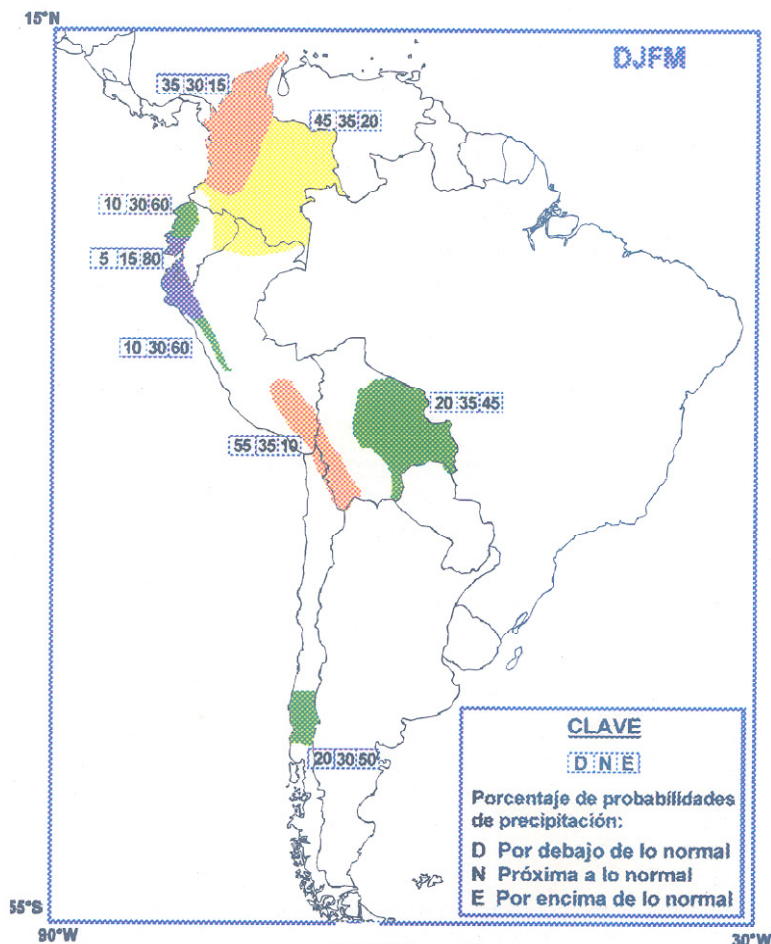


FIGURA 13

Eventos fríos de ENSO (La Niña)

Hemos descrito lo que ocurre durante El Niño y sus condiciones normales. Sucede que las temperaturas en el Pacífico ecuatorial hacen a veces, generalmente después de un Niño, excursiones a valores 1 a 2° C por debajo de lo normal. El fenómeno es pues lo opuesto de lo que ocurre durante El Niño y se produce como un “rebote” de la misma onda Kelvin que nos trae las aguas calientes durante El Niño. Este se le conoce como un evento frío de ENSO y más recientemente como “La Niña”. El nombre es nuevo para un fenómeno ya existente pero que para nosotros pasaba desapercibido como tal. En el lenguaje del norte del país se le conoce como un año seco. El nombre ha sido lanzado obviamente por alguien con poco conocimiento del idioma, ignorando el origen popular peruano y cristiano de El Niño, en la búsqueda de un antónimo que signifique lo opuesto (el “anticristo” hubiera sido igualmente tonto pero más apropiado). El fenómeno felizmente no acarrea ninguna amenaza. Beneficia a la pesca y se manifiesta como un año seco en el norte con una disminución de los caudales de los ríos de la costa norte y central del país. Se predice un evento de esta naturaleza para fines de 1998 y comienzos de 1999.

Análisis post-facto a los pronósticos y a lo ocurrido en 1998: Su impacto a los programas de prevención.

Las líneas de este capítulo se están escribiendo meses después de la presentación que hiciera yo sobre este tema en el Congreso. He creído conveniente al escribirlo de hacer un análisis de lo ocurrido, incluyendo lo sucedido con los pronósticos, en lugar de documentar las especulaciones que se hicieron en esa ocasión, hoy en día ya extemporáneas. Sin embargo cabe mencionar, como se puede apreciar en uno de los párrafos anteriores que acompaña a la Figura 12, que a Noviembre de 1997 (y los tres meses posteriores) tanto la ciencia internacional como el suscrito estuvieron más optimistas sobre lo que podría ocurrir que lo que nos deparó la naturaleza. Es importante analizar lo ocurrido con los pronósticos con la esperanza de aprender de la experiencia vivida y mejorar nuestra capacidad de pronóstico y prevención en el futuro.

Analicemos primero la importancia de mejorar nuestra capacidad de pronóstico en todos y cualquier programa de prevención que se diseñe para mitigar los daños que nos puede acarrear el Fenómeno de El Niño y en el planeamiento de un desarrollo sostenido que no esté expuesto a la destrucción de los avances logrados por fenómenos naturales. Hoy en día el concepto de "Prevención" va mucho más allá de la definición que podamos encontrar en el diccionario. Existe toda una metodología a seguir y que conlleva a una toma de decisiones basadas en la ciencia y consideraciones costo-beneficio.

Una parte importante en un programa de prevención se refiere a la "evaluación de los riesgos". El concepto de "Riesgo" está tomado del lenguaje de las compañías de seguros. En nuestro caso está relacionado con el "daño" que podamos sufrir por la probable ocurrencia de un evento (desastre). El riesgo resulta del producto de dos factores: "amenaza" y "vulnerabilidad". La amenaza se mide por la probabilidad de que ocurra un evento potencialmente desastroso. Se evalúa asignando diferentes probabilidades para diferentes escenarios o intensidades del evento. La vulnerabilidad es el daño potencial (en vidas, bienestar y dinero) resultante de cada uno de los posibles escenarios del evento. En un programa de prevención, el objetivo es el de mitigar los daños, esto es reducir la vulnerabilidad por medio del planeamiento tanto en el comportamiento social como en la construcción de obras. La toma de decisiones tiene que balancear el costo de la inversión con los beneficios obtenidos en la reducción del daño en un contexto de largo plazo. De ahí la importancia de una evaluación acertada de los riesgos involucrados.

Una mala evaluación de los riesgos nos puede llevar a una inversión exagerada y costosa que no está justificada por la magnitud del riesgo, o a grandes pérdidas que pudieron haber sido evitadas con una inversión de mucho menor costo.

De los dos factores mencionados, no hay nada que podamos hacer para reducir las amenazas; éstas las decide la naturaleza. Lo que sí podemos reducir es nuestra vulnerabilidad, la que resulta de nuestra existencia y obra. Pero, las decisiones que tomemos para ello serán tan buenas como nuestra capacidad de evaluación de las primeras. La evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura existente o futura, material o social, le corresponde a ingenieros, economistas y sociólogos. La evaluación de la amenaza que nos presenta El Niño (o cualquier otro desastre natural) está íntimamente relacionada con nuestra capacidad de pronóstico y le corresponde a la ciencia; de allí la razón de mi presencia, como representante del Instituto Geofísico del Perú, en el Congreso. Parte de esta ciencia nos puede llegar de afuera. Pero no podemos esperar a que los científicos extranjeros se interesen por todos los detalles que significa un Niño en el Perú. Eso lo tenemos que hacer nosotros.

La amenaza que nos presenta El Niño la podemos evaluar bajo tres escalas de anticipación: de más de uno a decenas de años, de semanas a aproximadamente un año, y de horas a varios días.

En relación a pronósticos con más de un año de antelación, la ciencia de hoy en día no nos

permite predecir el posible comportamiento del clima (El Niño) con tanta anticipación. La evaluación del riesgo y la amenaza se tiene que basar simplemente en la estadística de las diferentes intensidades de El Niño ocurridas en años anteriores, bajo la premisa que lo ocurrido en el pasado puede volver a suceder con una recurrencia similar.

Una conclusión que podemos sacar de la experiencia vivida recientemente en 1998, es que los parámetros de diseño para la construcción de cualquier infraestructura no pueden ser los mismos que los usados en años anteriores. Cualquier infraestructura que construyamos o reconstruyamos hoy en día no puede ser vulnerable a la ocurrencia de un El Niño como el de 1982-83 o el de 1997-98. Si bien en el pasado, aún después de la ocurrencia de El Niño de 1983, podíamos justificar económicamente parámetros de diseño deducidos de máximos de precipitaciones y caudales ocurridos con recurrencias de 25 a 50 años, sin contemplar niveles excepcionales como los experimentados en 1983; la ocurrencia de precipitaciones similares sólo 15 años después, nos obliga a usar las cifras registradas en estas dos ocasiones como nuevos parámetros de diseño. Esto cambiará significativamente el costo de cualquier estructura que se construya o reconstruya hoy en día (pero que resultará menor si lo evaluamos a largo plazo).

En este sentido, es interesante discutir y comparar las precipitaciones ocurridas en la ciudad de Piura en éstos dos períodos: los veranos de 1983 y de 1998. Estas se muestran en la Figura 14 en forma de milímetros acumulados por mes, para los meses de diciembre (del año precedente) a julio. Se puede apreciar que en ambos las precipitaciones llegaron a casi los 800 milímetros mensuales. Para apreciar la gravedad de estos niveles hay que tener en cuenta que el promedio normal es de sólo unos 10 a 15 mm mensuales y que 100 a 150 mm se considera ya un mes muy lluvioso, capaz de cubrir al desierto de vegetación y de producir grandes avenidas en los ríos. Si consideramos el acumulado anual, el año 1983 sigue siendo el más lluvioso. El total de 1998 llegó a los 1800 mm versus 2340 mm en 1983 (las cifras varían en algo según el lugar donde se ubica el pluviómetro que se usa). La mayor diferencia entre los dos años está en la duración del fenómeno. La prolongación de las lluvias a los meses de mayo y junio en 1983 siguen siendo excepcionales. Por otro lado, el caudal del río Piura rompió todos los records conocidos con 4300 metros cúbicos por segundo versus 3500 en 1983. El principal efecto de ésta diferencia fue la destrucción de dos de sus puentes, no obstante haber soportado las máximas avenidas de 1983.

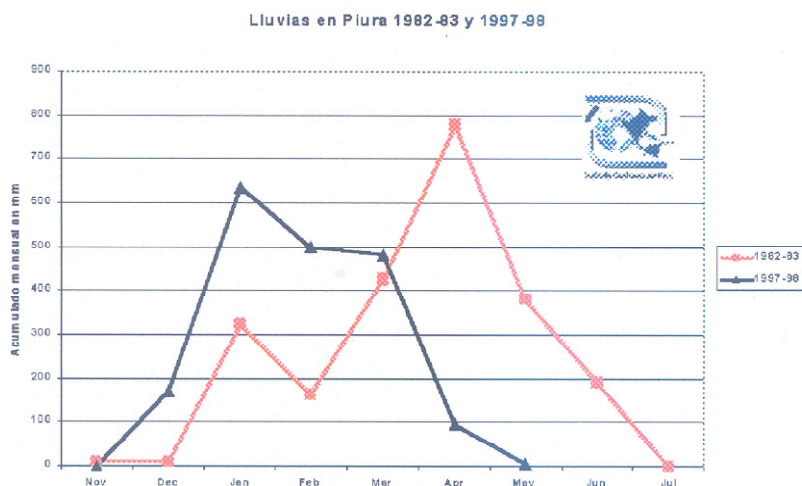


Figura 14 - Lluvias acumuladas mensuales en Piura en 1982-83 y 1997-98.

En todo caso las diferencias entre los dos años mencionados no cambian significativamente los parámetros de diseño que se deben usar en el futuro para obras de ingeniería.

Otro parámetro de importancia para el diseño de el drenaje adecuado de una ciudad, es la precipitación máxima en un día. Tal como se muestra en la Figura 15, en ambos periodos se tuvieron lluvias que llegaron en Piura a los 170 mm por día (los niveles varían ligeramente según el lugar donde se encuentre el pluviómetro), suficiente para rebasar la capacidad de drenaje de la ciudad. El sistema de drenaje, aún después de las obras de prevención hechas en 1997, no se dio abasto para este nivel de precipitación, con consecuencias desastrosas en muchos predios de la ciudad.

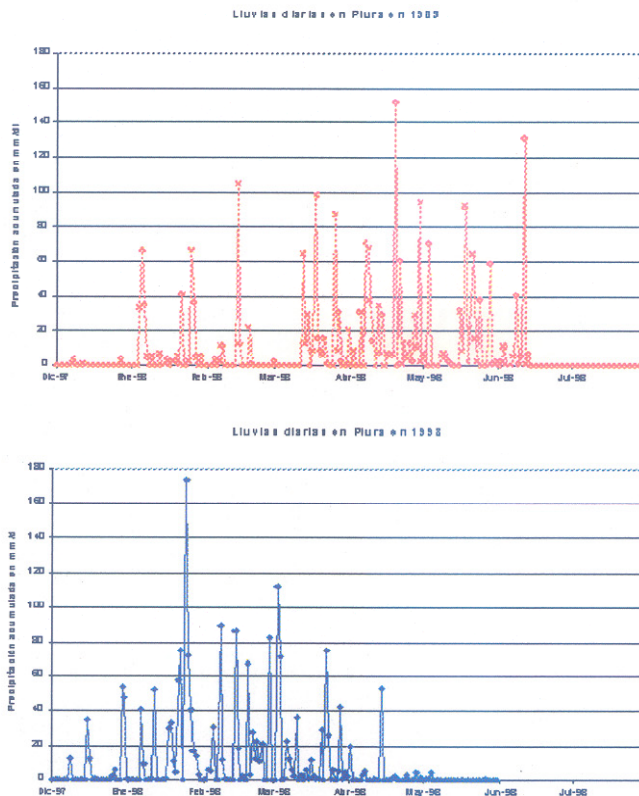


Figura 15 - Lluvias diarias en Piura en los años 1983 y 1998.

Lo dicho con respecto a Piura tiene su equivalente en todas las otras ciudades del norte del país. Nos hemos referido a Piura, a manera de ejemplo ilustrativo, por ser la que mantiene un mejor registro histórico.

Al hablar de la evaluación de amenazas en las segunda escala, con anticipación de hasta un año, estamos influenciados por la capacidad de pronóstico que nos ofrece la ciencia hoy en día con respecto a la ocurrencia y desarrollo del fenómeno de El Niño y que hemos introducido en las páginas anteriores. Pronósticos con éste plazo nos permite la toma de decisiones no sólo para la mitigación de posibles daños sino también para la obtención de beneficios. Hay que recordar que no todos los Niños son desastrosos. Podemos mencionar a manera de ejemplo la decisión de sembrar algodón o arroz con la debida anticipación, o la compra de ganado para aprovechar de los pastizales que se forman con las lluvias o la adecuación de los instrumentos de pesca a otras especies. La limpieza de cauces y alcantarillas es un ejemplo de como reducir los daños. Podemos tomar muchos otros ejemplos de las decisiones que se tomaron a mediados y fines de 1997 en previsión de lo que podría suceder en la época de lluvias.

Es interesante, por lo tanto, evaluar retrospectivamente la capacidad de pronóstico en ésta segunda escala de tiempo. Hemos visto en las páginas anteriores que el pronóstico de las lluvias se puede separar en dos etapas: el pronóstico de las temperaturas superficiales del mar frente a nuestras costas y el pronóstico de las lluvias que éstas acarrear conocido el nivel de temperatura. Para lo primero, dependemos de los pronósticos de los grandes centros de

investigación como NCEP-NOAA, para lo segundo se ha hecho sólo un ejercicio, para la ciudad de Piura, y que ahora estamos en situación de evaluar y discutir.

El laboratorio NCEP de NOAA hizo público sus pronósticos sobre las temperaturas futuras de la superficie del mar mes a mes desde antes de que se manifestara la ocurrencia del presente Niño para los doce meses consiguientes a cada edición. En la Figura 16 mostramos los pronósticos de la temperatura de la superficie del mar para un punto en el Pacífico en particular, el punto frente a Paita mencionado anteriormente. Cada color une los valores pronosticados con la misma antelación. Por ejemplo, los colores negro y amarillo muestran los valores mes a mes predichos con 1 y 3 meses de antelación, respectivamente. En el mismo gráfico mostramos con cuadrados rojos los verdaderos valores medidos para el mismo punto en el mar. La similitud entre los valores predichos y la realidad nos muestran la bondad de las predicciones con una precisión que se ha logrado sólo en éstos últimos años. Por otra parte, si consideramos la sensibilidad de las precipitaciones en la costa del Perú a variaciones de sólo un grado en la temperatura, errores cometidos en los pronósticos de esta magnitud tienen consecuencias drásticas en el pronóstico de las precipitaciones. La Figura 11 nos muestra esta sensibilidad. Mientras que con un mar a 28°C esperamos precipitaciones del orden de 150 mm, para 29°C esperamos precipitaciones cercanas a los 800 mm por mes.

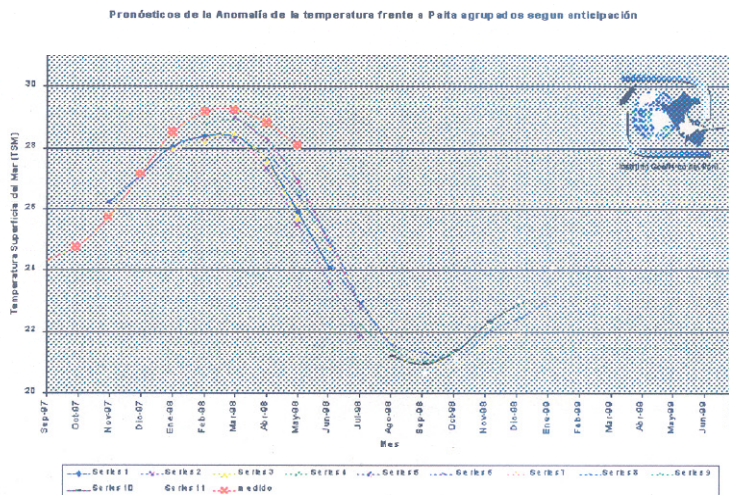


Figure 16 - Comparación de los pronósticos de la temperatura superficial del mar con diferente antelación y la temperatura medida.

Felizmente para mejorar la bondad de los pronósticos en el futuro, no necesitamos un gran salto en el desarrollo de la tecnología del modelaje matemático. Los modelos existentes son ya capaces de una mejor precisión en otros lugares del Pacífico. La diferencia se debe a la cantidad de instrumentos que hacen mediciones para alimentar el modelo. Mientras que de la Isla Galápagos hacia el oeste hay un gran número de boyas ancladas midiendo las temperaturas a diferentes profundidades, así como los vientos en superficie, para este lado del Pacífico la instrumentación es muy pobre. La razón es que el clima en el centro del Pacífico es el que influencia el clima en los EE.UU. y es natural que ellos inviertan en lo que más les afecta e interesa. Si el Perú quiere mejorar su capacidad de pronóstico debe invertir en mejorar la instrumentación y el pronóstico en las zonas que nos afectan. El Instituto Geofísico del Perú, la Universidad de Piura y la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina han elaborado una propuesta al Banco Mundial para mejorar la instrumentación en nuestras costas, lo que junto a un mejor modelado regional debe mejorar sustancialmente la calidad de los pronósticos frente a nuestras costas.

Aún si conociéramos la temperatura del mar con gran precisión, ésto no garantizaría la

continente) con días de anticipación. Una discusión del modelo y los beneficios que nos trae va más allá del tema que nos concierne: El Niño. Estamos seguros que no escapará al lector la importancia de esta capacidad en relación a la mitigación de los daños y el mejor aprovechamiento de los beneficios que nos trae El Niño, y la predicción del tiempo en general. Lo que sí no quisiéramos dejar de mencionar es que ésta gran capacidad que nos trae la ciencia moderna no la podemos aprovechar al máximo de su potencial, nuevamente por nuestra insuficiencia en alimentar al modelo adecuadamente con los datos meteorológicos del presente para una mejor predicción del futuro. Nuestra propuesta al Banco Mundial incluye el financiamiento para mejorar esta capacidad mediante estaciones meteorológicas automáticas que enviarían sus datos por medio de satélites científicos de comunicación. Los resultados de la predicción del tiempo se están publicando ya, diariamente, por Internet en las páginas web del IGP (<http://www.igp.gob.pe>).

El modelo MM5 adquirido nos permitirá también hacer investigaciones climáticas simulando anticipadamente las diferentes condiciones que se presentan durante la ocurrencia de un Niño. No necesitamos esperar la ocurrencia de El Niño para aprender lo que sucede o podría suceder, pues estamos en la capacidad de simular en la computadora las condiciones que interesen y observar el comportamiento en el modelo.

Para terminar quisiera resumir diciendo que la ciencia a nivel internacional ha avanzado mucho en la comprensión de los procesos físicos que dan lugar a las diferentes manifestaciones del fenómeno El Niño. El avance permite predecir con bastante precisión el comportamiento de las temperaturas del mar frente a nuestras costas. Estas a su vez, con metodología estadística o simulación digital nos permitirá pronosticar el nivel de precipitaciones en diferentes lugares de la costa para diferentes condiciones del fenómeno. Las precipitaciones son muy sensibles a pequeñas diferencias en la temperatura del mar cuando éstas se acercan a los 28-29°, esto es a los niveles que corresponden a Niños de intensidad extraordinaria. Esto requiere mejorar la calidad de los pronósticos mejorando y modernizando la instrumentación de los parámetros oceanográficos y meteorológicos del país y al uso de las mismas técnicas de modelación a una escala más reducida ya sea a nivel nacional o regional. Se requiere también un mayor esfuerzo en las actividades de investigación para mejorar nuestra capacidad de pronóstico, elemento indispensable en cualquiera de los programas de prevención. Tanto la mejora de la instrumentación y nuestra capacidad humana es una actividad que nos toca a nosotros, los peruanos, ejecutar. Esto será posible sólo si se cuenta con el apoyo estructural, político y financiero del Estado.

Bibliografía

1. Eguiguren, V. "Las lluvias en Piura", Boletín de la Soc. Geográfica de Lima, , Tomo IV Nos. 7, 8 y 9, 1894.
2. Woodman, Ronald F., "Recurrencia del Fenómeno El Niño con Intensidad Comprable a la del Niño 1982-1983", Ciencia Tecnología y Agresión Ambiental: El Fenómeno El Niño", CONCYTEC, Calle del Comercio 197, San Borja, pp.301-332, 1983.
3. Mabres, A.; Woodman, R. y Zeta, R., "Algunos Apuntes Históricos Adicionales sobre la Cronología de El Niño", Bull. Inst. Fr. Etudes Adnines, pp. 395-406, 1993.

Lectura complementaria

4. Glantz, M.H. (convenor), "A Systems Approach to ENSO: Atmospheric, Oceanic, Societal, Environmental, and Policy Perspectives", Report of Colloquium held on July 1 in Boulder, Colorado. Boulder: Environmental and Societal Impacts Group, National Center for Atmospheric Research, 1997. Website: <http://www.dir.ucar.edu/esig/enso>.

5. Glantz, M.H., "Currents of Change: El Niño's Impact on Climate and Society, Cambridge Press, 1996.
6. Amtz, Wolf E., Fhrbach, E., "El Niño: Experimento Climático de la Naturaleza", Impresora y Encaudernadora Progreso S.A. de C.V. (IEPSA), Calzada de San Lorenzo, 244, 09830 Mexico, D.F., 1996.