

HIDRÁULICA

Dr.- Ing. Arturo Rocha Felices
Consultor de proyectos hidráulicos

El presente artículo es una adaptación y resumen de algunos capítulos de un trabajo integral que prepara el autor sobre el Impacto del Fenómeno de El Niño en el Desarrollo Nacional.



La Costa Norte Peruana y su vulnerabilidad frente al Fenómeno de El Niño

El presente artículo es una adaptación y resumen de algunos capítulos de un trabajo integral que prepara el autor sobre el Impacto del Fenómeno de El Niño en el Desarrollo Nacional y apareció publicado en la revista Ingeniería Civil del Capítulo de Ingeniería Civil del Consejo Departamental de Lima del Colegio de Ingenieros del Perú, Año 8 N° 29, 2006.

CONTENIDO

- Resumen
- La costa
- El clima de la costa
- El concepto de sequía en la costa
- Redefinición del clima de la costa
- Las irrigaciones
- Vulnerabilidad de la costa frente al FEN
- Referencias bibliográficas

RESUMEN

El impacto del Fenómeno de El Niño comprende una extensa zona del territorio nacional, especialmente cuando por su gran magnitud tiene características de Meganiño; sin embargo, es necesario reconocer que se trata de una alteración climática esencialmente costeña [17]. Es, precisamente, en la parte norte de la costa peruana donde el Fenómeno se presenta más frecuentemente y con mayor magnitud, y es también allí donde ocurren los más grandes daños.

Según los estudios que viene realizando el autor, el Fenómeno del Niño (FEN) se ha presentado en la costa norte, con características de Meganiño, unas diez veces en los últimos cinco siglos, lo que implica un periodo de retorno del orden de cincuenta años. De acá la necesidad de examinar algunos aspectos de la vulnerabilidad de la costa peruana, relevantes para la comprensión y mitigación de los efectos del FEN desde el punto de vista de la ingeniería [11, 12, 14].

Para comprender el significado y el impacto del Fenómeno de El Niño en la costa norte del Perú es indispensable partir del conocimiento de su clima predominante, que es el que ha servido de base para su desarrollo social y económico. Para ello es necesario recordar que en una región determinada hay un clima persistente, que es el que está presente la mayor parte del tiempo y que da a esa región sus características típicas para el desarrollo de la vida y de las actividades económicas conexas. Sin embargo, dicho clima no está presente la totalidad del tiempo. El clima no es, pues, una constante, es una tendencia. La aparición del Fenómeno de El Niño significa una violenta e inusual manifestación climática que modifica el clima dominante y, por lo tanto, todo el desarrollo biológico y económico de la región sufre un enorme impacto. Pensando en las lluvias, como características del clima, hay, en un extremo regiones áridas y semiáridas y, en el otro, regiones en las que el clima es húmedo y aun hiperhúmedo. Generalmente se considera que estos extremos corresponden sincrónicamente a lugares diferentes de la Tierra. Pero, en la costa norperuana ambos extremos se dan diacrónicamente.

Es en el medio predominantemente seco anteriormente descrito donde eventualmente y durante algunos meses se produce en la costa norperuana, como consecuencia del FEN, la alteración violenta del clima dominante. Recordando que el clima es el conjunto de condiciones atmosféricas que dan carácter a un área geográfica determinada, resulta evidente el gran efecto que produce dicha alteración climática en la vida y en las actividades económicas de sus habitantes. Durante el FEN la temperatura del aire aumenta varios grados y la lluvia adquiere valores propios de climas tropicales. Paralelamente, aumentan los caudales de los ríos y cambian los otros factores determinantes del clima. Es como si de pronto la costa norte se hubiese trasladado a otro lugar del planeta. El FEN, al que Schweigger llama "catástrofe oceanográfica y climática" [26], produce la "tropicalización" temporal del clima. Lo extraordinario no es que en un año en el que se presenta el FEN llueva en un determinado lugar 2 000 mm, sino que en los 15 o 20 años precedentes el promedio anual en el mismo lugar hubiese sido, por ejemplo, de 50 mm o menos.

El clima de la costa tendría que redefinirse señalando que es generalmente seco, en realidad hiperárido, pero que eventualmente y durante un periodo corto se convierte en extremadamente lluvioso y tropical. Es decir, que ya no se debe describir ni considerar el clima de la costa norte independientemente del Fenómeno de El Niño. Así se viene reconociendo en las últimas décadas en los estudios de ingeniería. Este concepto debe extenderse a otros campos. La importancia práctica de esta definición está vinculada a la recurrencia del Fenómeno, el que con características de Meganiño se presenta en nuestro país con un periodo de retorno del orden de 50 años.

Está pendiente en nuestro país describir y sistematizar, para su posterior evaluación y prevención, los diferentes daños que ocurren o pueden ocurrir durante los grandes Niños. Esto es importante porque el conocimiento de los daños causados, o que pueden causar los grandes Niños, debe ser el punto de partida para el planeamiento de las acciones para contrarrestar sus efectos. El estudio de los daños es en buena cuenta el punto de partida del estudio de la vulnerabilidad de la costa peruana. No se debe olvidar que el estudio de las fallas es una de las principales fuentes de conocimiento.

El impacto del FEN es diferente en cada época. En el pasado el mayor impacto no era en las infraestructuras, pues éstas no eran tan numerosas ni tan importantes como ahora, sino en las vidas humanas. Durante el Fenómeno de El Niño las condiciones sanitarias empeoraban notablemente y se propagaban enfermedades infecto contagiosas. Había también notable escasez de alimentos y en muchos casos hambrunas. Los medios de transporte y la comunicación con el resto del país tenían grandes deficiencias lo que impedía la ayuda. En cambio, en los Meganiños más recientes los principales daños han estado vinculados a las infraestructuras y a la situación económica en general.

El impacto de un Meganiño en la vida y la economía de la población depende mucho de cual era la situación social y económica preexistente a su aparición. Así mismo, siempre se da que los grupos humanos más castigados son los más pobres, porque están menos preparados para enfrentarse a la nueva situación climática creada y porque su capacidad de respuesta para la reconstrucción y recuperación es mucho menor. El tema de los daños no puede desligarse del de la vulnerabilidad. Frente a un mismo evento natural los daños pueden ser mayores o menores según la vulnerabilidad de cada lugar. Es difícil realizar una clasificación rigurosa de los daños, pero debe intentarse hacerlo considerando los aspectos más importantes. Sin embargo, debe señalarse que la relación que se ha preparado, y que se presenta más adelante, de las actividades que usualmente se ven afectadas por los Meganiños tiene el carácter más general posible y con ella se pretende demostrar la gran amplitud de los daños posibles. Los principales daños asociados a los grandes Niños se relacionan con lo siguiente:

De todo lo expuesto se deduce con claridad la enorme vulnerabilidad de la costa norte del Perú frente a la aparición eventual del Fenómeno de El Niño [13, 19]. En realidad su vulnerabilidad es más amplia, pues así como se presenta el FEN, en otras oportunidades han ocurrido intensas sequías. Se podría decir que la suerte de la costa peruana está vinculada al exceso o al defecto de agua. A su vez, el clima de la costa depende fuertemente de lo que ocurre en el mar. Por lo tanto, en última instancia, la suerte de la costa norperuana depende del mar y de lo que suceda a miles de kilómetros cuando se inicia una compleja manifestación climática de origen oceanográfico-atmosférico que determina para un año dado la sequedad o la abundancia de agua en la costa.

El Fenómeno de El Niño debe ser considerado por la ingeniería como lo que es: un fenómeno natural que puede convertir en desastre la condición de vida de numerosos seres humanos. Si miramos el Fenómeno desde el punto de vista del ingeniero proyectista nuestra atención tendrá que centrarse, no en el pronóstico, si en el conocimiento de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno climático de determinada magnitud para su apropiada consideración en los proyectos y diseños de ingeniería [24].

La costa

El impacto del Fenómeno de El Niño comprende una extensa zona del territorio nacional, especialmente cuando por su gran magnitud tiene características de Meganiño; sin embargo, es necesario reconocer que se trata de una alteración climática esencialmente costera [17]. Es, precisamente, en la parte norte de la costa peruana donde el Fenómeno se presenta más frecuentemente y con mayor magnitud, y es también allí donde ocurren los más grandes daños. Según los estudios que viene realizando el autor, el Fenómeno del Niño (FEN) se ha presentado en la costa norte, con características de Meganiño, unas diez veces en los últimos cinco siglos, lo que implica un periodo de retorno del orden de cincuenta años. De acá la necesidad de examinar algunos aspectos de la vulnerabilidad de la costa peruana, relevantes para la comprensión y mitigación de los efectos del FEN desde el punto de vista de la ingeniería [11, 12, 14].

La costa peruana es una parte del territorio nacional constituida por una franja muy estrecha, que se extiende paralelamente al océano Pacífico y que tiene de Tumbes a Tacna una longitud de unos 3 000 km. Su ancho es variable, con un valor medio cercano a los cincuenta kilómetros. Para los fines del presente trabajo se considera que la costa se extiende desde el nivel del mar hasta una altitud de 2 000 o 2 500 m. Este límite está determinado por la altitud a partir de la cual hay lluvia suficiente para el desarrollo de la agricultura, sin necesidad de riego, por lo menos una parte del año.

La costa peruana es, pues, el espacio comprendido entre el mar abierto y la cordillera. Así definida, la costa tiene una extensión de unos 140 000 km² (14 millones de hectáreas) que representa el 11% de nuestro territorio. En ella vive más de la mitad de la población nacional y su zona norte sufre reiteradamente los efectos del Fenómeno de El Niño. La parte de la costa de menor altitud y próxima al mar es la zona en la que se siente con mayor

magnitud e intensidad los efectos del Fenómeno, y es a la que usualmente se denomina “*parte baja de las cuencas*”. Este hecho y la circunstancia de que el FEN se origina en el mar, sustentan su carácter eminentemente costero, antes mencionado.

Generalmente se piensa en la costa peruana como un inmenso desierto porque en ella usualmente no llueve. En realidad la costa peruana es uno de los desiertos más áridos del mundo. Un desierto es un lugar despoblado que se caracteriza por su esterilidad y falta de vegetación. Es decir, que en la costa peruana no llueve con la persistencia y oportunidad requeridas para el desarrollo de la vida humana y de la agricultura. La costa peruana está cortada por unos 53 cursos de agua de corto recorrido, que en su mayor parte son torrenciales y de régimen muy irregular. En los estrechos valles que forman estos ríos, que es donde se encuentran los asentamientos humanos, existe ancestralmente agricultura basada en el riego y en los que, por lo menos, desde un par de milenios a. C. el hombre ha cultivado la tierra adaptándose a las condiciones naturales y desarrollando importantes culturas [3].

El área de la costa ocupada por la población, la agricultura y prácticamente todas las actividades es, en cifras redondas, de sólo unas 840 000 hectáreas (8 400 km²), que representan el 6% de su extensión total. Esto explica que a la costa se le califique como un desierto, pues el 94% de su extensión superficial realmente lo es. Sin embargo, en esa pequeña área de 8 400 km² que es bastante menos del 1% de la extensión superficial del país y donde sólo se encuentran disponibles menos del 2% de los recursos hidráulicos superficiales del Perú, vive alrededor del 54% de la población nacional. Es que el Perú no sólo tiene el problema del centralismo, en virtud del cual casi el 30% de la población del país vive en Lima, sino, además, el problema de la llamada “litoralización” que consiste en la gran concentración poblacional en la costa, predominantemente seca. Esto resulta particularmente paradójico si recordamos que el Perú posee casi el 5% de los recursos hidráulicos superficiales del planeta.

La población de la costa es en cifras redondas de 15 millones de habitantes. Si todo el territorio de la costa estuviese más o menos uniformemente ocupado se podría entonces calcular la densidad demográfica media, y ésta sería de 107 hab/ km². Pero, como en realidad la población sólo ocupa el pequeño porcentaje de la extensión total de la costa que se mencionó anteriormente (6%), resulta que la densidad poblacional real de la costa es de 1 786 hab/ km². Si se hiciese un nuevo cálculo, sin considerar la capital, se obtendría para el resto de la costa una densidad de 897 hab/km², que es también un valor bastante alto. Estas altas densidades poblacionales tienen relación con el hecho de que en la costa, al igual que en todo el Perú, hay escasez de tierras aptas para la vida humana. A lo anterior se añade que la población del Perú viene aumentando vertiginosamente. En los últimos cincuenta años la población peruana se ha triplicado. En los doce años correspondientes al último periodo intercensal (1981-1993) la población del Perú aumentó en 5 millones y en la actualidad el incremento medio poblacional a nivel nacional es de casi medio millón de nuevos habitantes al año [10].

El deseo de la población de la costa norte de lograr una mejor calidad de vida ha tenido su expresión, en las últimas décadas, en la construcción de grandes obras de desarrollo infraestructural tales como centros urbanos e industriales, carreteras, puentes, presas, bocatomas, canales, y muchas otras más. Pero, al ocurrir los Meganiños de las últimas décadas se ha visto la vulnerabilidad de nuestra ocupación territorial y la necesidad de redefinir nuestro clima costero y la conveniencia de no considerarlo, desde el punto de vista del planeamiento del desarrollo físico, únicamente como seco y carente de lluvias, sino como un clima que si bien es predominante seco, es, eventual y temporalmente, muy lluvioso [11, 12, 18]. El desordenado crecimiento de las ciudades, la ocupación territorial antitécnica, la concentración demográfica en áreas no aptas para los asentamientos humanos en las que los habitantes se aferran al lugar en el que viven, aunque sea peligroso, porque no tienen otro lugar a donde ir, junto a la pobreza de una parte importante de la población y la falsa creencia de que el

clima es permanentemente seco, son los factores que contribuyen a que los daños producidos por el Fenómeno de El Niño sean cada vez mayores.

El clima de la costa

En general, son varias las condiciones atmosféricas determinantes del clima. Entre ellas están la presión barométrica, la humedad relativa, los vientos, la nubosidad, la temperatura del aire y las precipitaciones. El clima es, pues, el conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región. La palabra clima se usa también como sinónimo de ambiente o de condiciones físicas, sociales y de diverso orden, imperantes en un lugar o momento determinado. Es así como se habla metafóricamente de un “clima de paz”, o de un “clima bélico”, por ejemplo. El clima se define también como la temperatura particular y demás condiciones atmosféricas y telúricas de cada región. Como la temperatura actúa sobre todas las etapas del ciclo vital resulta ser uno de los elementos más característicos del clima. Si bien es cierto que el clima, como conjunto de condiciones atmosféricas, es propio de cada región, también lo es que usualmente varía dentro de ciertos rangos o límites. Las condiciones climáticas se describen usualmente por valores medios a los que suele llamarse “normales”. Así, la temperatura normal en un mes dado y en un lugar determinado se define como la temperatura media de los últimos veinte o treinta años en ese mes y en ese lugar.

Para comprender el significado y el impacto del Fenómeno de El Niño en la costa norte del Perú es indispensable partir del conocimiento de su clima predominante, que es el que ha servido de base para su desarrollo social y económico. Para ello es necesario recordar que en una región determinada hay un clima persistente, que es el que está presente la mayor parte del tiempo y que da a esa región sus características típicas para el desarrollo de la vida y de las actividades económicas conexas. Sin embargo, dicho clima no está presente la totalidad del tiempo. El clima no es, pues, una constante, es una tendencia. La aparición del Fenómeno de El Niño

significa una violenta e inusual manifestación climática que modifica el clima dominante y, por lo tanto, todo el desarrollo biológico y económico de la región sufre un enorme impacto. Pensando en las lluvias, como características del clima, hay, en un extremo regiones áridas y semiáridas y, en el otro, regiones en las que el clima es húmedo y aun hiperhúmedo. Generalmente se considera que estos extremos corresponden sincrónicamente a lugares diferentes de la Tierra. Pero, en la costa norperuana ambos extremos se dan diacrónicamente.

La costa es lo que los conquistadores llamaron los llanos, por el relieve característico del terreno. El clima de la costa es reconocido como cálido y seco, porque la mayor parte del tiempo lo es. Estas características atmosféricas dominantes de la costa peruana han sido determinantes para el establecimiento y desarrollo de los centros poblados. Así como los orígenes y el desarrollo de los asentamientos humanos de la costa peruana no pueden desvincularse del mar, tampoco se puede en la actualidad desligar el estudio del clima de la costa, y las enormes implicancias que tienen sus variaciones, de lo que ocurre en el mar. En realidad el clima de la costa está fuertemente determinado por la temperatura del mar. Humboldt notó claramente que las temperaturas predominantes en la costa eran inferiores a las que según su latitud le correspondería. Así, hacia 1801, cuando en Lima la temperatura era de 12,5° C Humboldt señaló que según su latitud la temperatura debería ser de 21° C y que las temperaturas relativamente frescas que hay en la costa durante gran parte del año se deben a la corriente de agua fría “*que marcha hacia el norte hasta Cabo Pariñas*”. La situación descrita por Humboldt es la que en términos actuales correspondería a la no presencia del FEN. Cuando ocurre el FEN y se presenta con características de Meganiño, la temperatura del mar sube más de 7° sobre su valor medio.

El clima de la costa puede establecerse a partir del análisis e interpretación de las mediciones efectuadas de las variables que lo determinan. El clima también puede conocerse a partir de los testimonios e impresiones de diversos observadores, habitantes y estudiosos de la costa peruana. Para

los efectos del presente trabajo interesa demostrar que desde muy antiguo ha habido entre la población la convicción de la sequedad de la costa, no como clima dominante, sino como si éste fuese el único clima. Este hecho ha tenido enormes repercusiones negativas en nuestra concepción de la ocupación territorial y en el desarrollo físico de los últimos siglos y es tan importante que vale la pena recordar diversos y variados testimonios de los últimos siglos acerca de la aridez, considerada como característica permanente del clima de la costa peruana.

Agustín de Zárate, quien estuvo en el Perú entre 1543 y 1545, afirma en su *Historia del Descubrimiento y Conquista del Perú* [27], que de Tumbes unas quinientas leguas hacia el sur a lo largo de la costa y en un ancho de diez leguas no llueve ni truena ni cae rayo alguno, y que, en cambio, subiendo hacia la sierra si se encuentra lluvias. Y continúa, con gran acierto, describiendo la costa de la siguiente manera, “*estos llanos son muy secos, y de muy grandes arenales, porque no llueve jamás en ellos, ni se halla fuente ni pozo, ni ningún otro manantial...*”. Lo que está en perfecta concordancia con lo que conocemos ahora acerca del carácter eminentemente desértico de la costa peruana. Al referirse a los ríos de la costa señala Zárate que “*... estos ríos están apartados unos de otros, algunas veces doce y quince y veinte leguas, pero lo más ordinario es a siete y ocho leguas, y así los caminantes hacen comúnmente jornada en ellos porque no tienen otra agua que beber...*”. Señala también el cronista Zárate que en las orillas de los ríos y en un ancho de una legua más o menos “*hay muy grandes frescuras de arboleda.*” Sin embargo, a lo largo de la *Historia de Zárate* no hay la menor alusión a la ocurrencia eventual de fuertes y eventuales lluvias en la costa, lo que podría indicar que en los años inmediatamente anteriores a la época en la que visitó el Perú no se presentó el FEN con una magnitud que hubiese podido dejar huellas y recuerdos durante varios años. Cieza de León, quien estuvo en el Perú entre 1548 y 1550, en su obra *La Crónica del Perú* [1], hablando de la sequedad de Piura dice al referirse a los valles: “*...porque desde principio de octubre para adelante no llueve en todos los llanos, si no es un tan pequeño rocío, que apenas en algunas partes mata el polvo y por esta causa*

los naturales viven todos de riego, y no labran más tierra de la que los ríos pueden regar”, en clara alusión a las obras de irrigación y a la falta de lluvias efectivas. Al describir la costa añade, “En toda la más (por parte de su esterilidad), no se cría hierba, sino todo es arenales y pedregales sequísimos,...”.

Juan de Arona al tratar, hacia fines del siglo XIX, de la palabra garúa en su Diccionario de Peruanismos [4], señala que ésta “*constituye la única lluvia del litoral peruano, extensión como de 500 leguas de arenales desiertos, con risueños valles interpuestos*”. Obsérvese que Arona califica la garúa como la única lluvia de la costa peruana. No menciona, pues, la existencia de las grandes lluvias correspondientes al FEN. Se podría multiplicar el número de citas respecto al reconocimiento de la sequedad de la costa, porque esa es, efectivamente, su característica predominante. La historiadora María Rostworowski señala que “*El rasgo característico de la costa peruana es su aridez, seguido de otros elementos no menos peculiares, como son las persistentes brumas y neblinas y la temperatura existente...*” [25].

Si tenemos en cuenta, por ejemplo, la Clasificación Climática de la UNESCO en función del Índice Climático de Aridez, resultaría que al aplicarse al clima dominante (veinte o treinta años sin lluvias significativas) la costa peruana sería hiperárida. El Índice Climático de Aridez (ICA), que es la relación, para un año, entre la lluvia y la evapotranspiración potencial, indica que una zona es hiperárida cuando su valor es inferior 0,03. En gran parte de la costa la lluvia anual media está usualmente muy por debajo de los 50 mm y la evapotranspiración potencial está fácilmente por encima de 1 500 mm. En consecuencia, se trata de un caso de hiperaridez. Pero, de pronto aparece en el mismo lugar un año muy lluvioso (2 000 mm anuales, por ejemplo) y la zona se vuelve transitoriamente húmeda.

El concepto de sequía en la costa

Dentro de la situación climática de gran sequedad predominante en la costa peruana es necesario preguntarse qué significado tiene la aparición de una sequía. Como el concepto mismo de sequía está asociado a la disminución de la disponibilidad de agua, cabría preguntarse cómo puede disminuir el agua en una región que de por sí es seca. Esto se debe a que no es lo mismo sequía que aridez. La sequía es eventual, inesperada, circunstancial; la aridez es inherente a un lugar y está asociada a una gran duración. En la vida agrícola de la costa peruana el término sequía no se aplica a la ausencia de lluvias en dichas zonas, porque esto es lo “normal”, sino a la ausencia de lluvias en las partes altas de las cuencas, que es donde usualmente se produce la lluvia que da lugar a la escorrentía fluvial que se aprovecha en las partes bajas. En cambio, en otros lugares del territorio nacional donde la agricultura es de secano, el término sequía se aplica a la falta de lluvias en las zonas agrícolas [10].

En un valle que no goce de los beneficios de obras de regulación y trasvase de las aguas, la posibilidad de riego en un momento determinado depende de la aparición de lluvias en la parte alta de su cuenca. Cuando allí no llueve lo suficiente, o cuando no llueve en el momento oportuno, la población de la parte baja de las cuencas dice que hay sequía. Los agricultores de estas partes bajas siempre han vivido una situación incierta con respecto a la disponibilidad de agua. Antes de construirse las citadas obras de regulación y derivación, las lluvias en las partes altas de las cuencas eran tan importantes para todas las actividades y se esperaban con tal ansiedad que había diversas formas populares de intentar predecir la disponibilidad de agua en los ríos de la costa norte y, en consecuencia, si el año agrícola iba a ser bueno o malo. Así por ejemplo, se decía:

Enero, poco,

Febrero, loco,

Marzo, poco a poco,

Abril, aguas mil o caben en un barril.

Era frecuente que el año hidrológico fuese avanzando y se llegase al mes de enero sin que hubiesen aparecido las ansiadas lluvias. Cuando éstas

finalmente llegaban y el río hasta entonces seco se cargaba con las aguas, que en algunos valles llamaban “nuevas”, se producía gran alegría entre la población. En algunos lugares se echaban las campanas al vuelo, en otros se recibían las aguas con bandas de músicos y se arrojaban monedas al río. Es que la llegada del agua era la vida, la salvación de las cosechas y de la economía. La sequía era la pobreza.

Las sequías son relativamente frecuentes en la costa peruana. Ocurren sequías que duran sólo un año y otras que se mantienen con altibajos durante periodos más largos. Así por ejemplo, luego del Meganiño de 1791 los periodos 1792–1802 y 1805–1813 se caracterizaron por una aguda sequía en la costa norte con desastrosas consecuencias para la agricultura y para la economía. Los años 1950 y 1951 fueron tan secos que el agua del río no llegó a la ciudad de Piura. Esta sequía causó un enorme impacto en la economía y fue uno de los factores decisivos para impulsar lo que años después constituiría las obras de mejoramiento de riego del valle de Piura, es decir, el proyecto Chira-Piura. Por ese entonces ya estaban en marcha las obras de la irrigación San Lorenzo, que eran para ampliar la frontera agrícola. Se encuentra una clara expresión de la importancia y significado de la sequía de 1950-51 en la conferencia que dictó en 1951 don Alfredo Checa Eguiguren en el Club Departamental Piura y cuyo título fue *La sequía en el valle regado por el río Piura* [2], en la que dicho autor afirmó entre otros conceptos los siguientes: *“El punto neurálgico que preocupa a todos por igual en el Departamento de Piura, es la falta total de agua en los dos últimos años en el río de su nombre...”* ...*“La sequía en el valle regado por el río Piura ha significado que en los años 1950 y 1951, dejaron de producir 31 000 hectáreas aradas, preparadas, muchas de ellas abonadas, que representan ingentes inversiones de capital, que permanecerá improductivo, y que quizás, Dios no lo permita, puede significar la ruina de muchos propietarios si esta situación continuara...”* Al leer estas palabras parece mentira que se estuviese hablando del mismo valle que en otros momentos ha tenido exceso de agua, tanto en el río como en forma de lluvia directa. Así, sólo para mencionar algunos datos, basta recordar que el río Piura, que en 1950 y en 1951 tuvo un caudal igual a cero, alcanzó en 1972

los 1 600 m³/s, en 1983 descargó 3 400 m³/s y en 1998 llegó a los 3 500 m³/s. Es el mismo valle en el que la lluvia anual acumulada no llega a los 50 mm y que en los dos últimos Megañños superó los 2 000 mm.

Los valles con escasez de agua como el de Piura tenían, hasta antes de ponerse en servicio las obras de regulación y trasvase, normas y reglamentos para el reparto y distribución de las escasas aguas, que incluían por ejemplo, las *quiebras*, en virtud de las cuales los usuarios de las partes altas de un río debían cerrar sus bocatomas para que pudiese llegar agua a la parte baja del valle. Así por ejemplo, en 1926 se aprobó el Reglamento para la Distribución de las Aguas del río Piura [7] en el que se establecía las normas para el reparto y distribución de sus aguas desde su nacimiento en Huarmaca hasta su desembocadura en la bahía de Sechura. Para ilustrar acerca de la importancia del agua de riego y conocer mejor acerca de su escasez y de la posibilidad de conflictos por el uso, es conveniente transcribir algunos aspectos del mencionado Reglamento. En él se establecía, por ejemplo, que la Comisión Técnica encargada de la distribución del agua podía, en función de la disponibilidad de agua en el río, declarar los siguientes estados de aprovechamiento del río Piura:

a) Toma libre, corresponde a la abundancia de agua y se aplica a partir del “*momento en el que el río en sus avenidas periódicas llegue al pueblo de Sechura; o en su defecto corra durante tres días consecutivos bajo el puente del canal de la Muñuela*”, o cuando su descarga en la estación de aforos del puente sea de 45 m³/s o más. Declarado el río en estado de toma libre podían comenzar los riegos en los valles de Piura, Catacaos y Sechura.

b) Estado de reparto, corresponde al caso en el que la descarga del río en el puente sea menor de 45 m³/s, pero mayor de 3 m³/s. En este estado el agua se repartía entre los diversos usuarios de acuerdo a porcentajes y reglas fijadas en el Reglamento.

c) Estado de mita, se presenta cuando hay una fuerte escasez de agua y se declara cuando la descarga del río en el puente sea inferior a 3 m³/s, en cuyo

caso se suspenden todos los riegos en los “*aprovechamientos superiores*” (Pabur, Malingas, etc.), y Catacaos y Sechura entran en estado de mita “*tomando el agua del río por diez días consecutivos cada uno de los dos distritos*”.

d) Estado de seca, se declara cuando el río está casi seco y la descarga sea inferior a $1 \text{ m}^3/\text{s}$, en cuyo caso dice el Reglamento “*cesarán por completo todos los aprovechamientos, sin excepción alguna, dejándose correr el agua libremente para el abastecimiento e higiene de las poblaciones*”.

Así de grave era o podía ser la escasez de agua en el valle del río Piura, descrita por el citado Reglamento de 1926. Se trata del mismo valle que el año anterior, 1925, había tenido que soportar el primer Meganiño del siglo XX. Situaciones similares con respecto a la sequía y a la escasez de agua en contraste con la gran abundancia eventual de agua se daban en otros valles de la costa sujetos al Fenómeno de El Niño.

Tumbes es uno de los valles de la costa peruana que ha sufrido más intensamente los efectos del Fenómeno de El Niño. Sin embargo, en dicho valle también se han presentado fuertes sequías, como la de 1968. El río Tumbes, que llega fácilmente a los $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$, sólo registró ese año unos cuantos m^3/s . Esta fue una gran sequía regional que afectó fuertemente el norte del Perú y el sur del Ecuador. Ambos países pidieron la ayuda del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, organismo que produjo un informe titulado *Acción Conjunta contra la Sequía (1969)*, en el que se sugería que la solución óptima para ambos países era el estudio y ejecución del proyecto binacional Puyango-Tumbes, recomendación ésta de la que surgió en 1971 el Convenio Peruano Ecuatoriano para el Aprovechamiento de las Cuencas Puyango-Tumbes y Catamayo-Chira [9].

Redefinición del clima de la costa

Es en el medio predominantemente seco anteriormente descrito donde eventualmente y durante algunos meses se produce en la costa norperuana, como consecuencia del FEN, la alteración violenta del clima dominante.

Recordando que el clima es el conjunto de condiciones atmosféricas que dan carácter a un área geográfica determinada, resulta evidente el gran efecto que produce dicha alteración climática en la vida y en las actividades económicas de sus habitantes. Durante el FEN la temperatura del aire aumenta varios grados y la lluvia adquiere valores propios de climas tropicales. Paralelamente, aumentan los caudales de los ríos y cambian los otros factores determinantes del clima. Es como si de pronto la costa norte se hubiese trasladado a otro lugar del planeta. El FEN, al que Schweigger llama “*catástrofe oceanográfica y climática*” [26], produce la “tropicalización” temporal del clima. Lo extraordinario no es que en un año en el que se presenta el FEN llueva en un determinado lugar 2 000 mm, sino que en los 15 o 20 años precedentes el promedio anual en el mismo lugar hubiese sido, por ejemplo, de 50 mm o menos.

El clima de la costa tendría que redefinirse señalando que es generalmente seco, en realidad hiperárido, pero que eventualmente y durante un periodo corto se convierte en extremadamente lluvioso y tropical. Es decir, que ya no se debe describir ni considerar el clima de la costa norte independientemente del Fenómeno de El Niño. Así se viene reconociendo en las últimas décadas en los estudios de ingeniería. Este concepto debe extenderse a otros campos. La importancia práctica de esta definición está vinculada a la recurrencia del Fenómeno, el que con características de Meganiño se presenta en nuestro país con un periodo de retorno del orden de 50 años.

Con relación al clima de la costa puede ser útil acá hacer una precisión terminológica respecto a las dos estaciones principales. Antiguamente, y aun en la actualidad en gran parte de la sierra (y de la selva), se llamaba invierno a la estación lluviosa (Diciembre-Abril) y verano a la estación seca. En la actualidad en la costa se llama invierno a la estación fría y verano a la estación cálida. Sin embargo, en la costa para designar al invierno, desde el punto de vista hidrológico, se usa la expresión estiaje (que viene de estío, que es verano). Al respecto de puede recordar lo señalado por don Manuel Feijóo de Sosa en su Relación Descriptiva de la ciudad y provincia de

Trujillo, citado por Edgardo Rivera [8], en la que a propósito de las lluvias de febrero y marzo de 1720 correspondientes al Meganiño de aquel año, que cayeron con gran fuerza en Trujillo durante cuarenta días, expresó lo siguiente: *“Fenómeno es digno de consideración que en el rigor del Verano viese esta Ciudad su mayor Invierno”*. Según el DRAE, invierno es, en segunda acepción, temporada de lluvias; verano es, en segunda acepción, temporada de sequía. Estío es verano y estiaje es el *“Nivel más bajo o caudal mínimo que en ciertas épocas del año tienen las aguas de un río, estero, laguna, etc. por causa de la sequía”*.

Como la mayor parte del tiempo el clima de la costa es tan seco debe recurrirse a obras de irrigación para hacer que la vida sea posible y como, eventualmente, hay lluvias catastróficas propias de un clima muy húmedo se debe preparar las estructuras para esta situación extrema [15, 16, 21]. El FEN como su nombre lo indica es un fenómeno natural que ocurre eventualmente y para el cual a la población no le queda otro recurso que estar preparada. El FEN puede convertirse en un desastre si es que no se toma las precauciones del caso. Para ilustrar esto se podría pensar en que para aquél que no tiene una casa o un techo para guarecerse, cualquier lluvia o viento puede ser un desastre. De acá la importancia de ser conscientes de las particularidades del clima costero y de adoptar oportunamente las medidas para contrarrestar sus peculiaridades.

Las irrigaciones

Las irrigaciones surgen donde la lluvia es insuficiente para desarrollar una agricultura sostenida. Es decir, aparecen en las zonas áridas, etimológicamente secas. Los términos árido y semiárido se aplican a zonas con diversas características físicas y climáticas, en las que en general la energía solar es grande, la que da lugar a fuerte evaporación y al mantenimiento de altas temperaturas. Lo más notorio de estas zonas es la escasez de agua y la irregular distribución temporal de los pocos recursos hidráulicos superficiales existentes [10].

En una hermosa tradición cuenta Ricardo Palma como es que el inca Pachacútec, atendiendo a los ruegos de una pobladora del antiguo valle de Ica, quien le pedía agua para su comarca, habría ordenado hacia el año 1412 la construcción del canal de La Achirana, hasta ahora en servicio, y cuyo nombre significa según Palma, “*lo que corre limpiamente hacia lo que es hermoso*”^[5]. Esta tradición expresa la importancia del agua y del riego en la costa peruana, problema éste que indudablemente había sido ya resuelto unos milenios antes de la llegada de Pachacútec al valle de Ica.

Desde la época en la que el hombre se instaló en la costa peruana, hace algunos miles de años, tuvo que realizar obras hidráulicas para aprovechar el agua escasa e inconstante de los ríos que bajan de los Andes. Ante la ausencia de lluvias útiles y teniendo a su disposición tierras aptas para los cultivos, el habitante primitivo se vio obligado a ejecutar obras de irrigación las que, junto con los recursos provenientes del mar, le permitiesen su subsistencia. Dichas obras, que eran fundamentalmente rústicas y que estaban constituidas por bocatomas y canales, sufrían el impacto del exceso eventual de agua. En consecuencia, el antiguo habitante de la costa peruana debió enfrentarse, desde las más tempranas épocas y con cierta frecuencia, al exceso de agua de lluvia y a las crecidas de los ríos y, por cierto, al Fenómeno de El Niño y sufrir sus efectos. La costa peruana vista como hábitat del ser humano es una gran obra de irrigación.

El clima de la costa, que como se señaló antes, la mayor parte del tiempo es seco y moderadamente cálido, reúne las condiciones adecuadas para el desarrollo de un gran número de cultivos; sin embargo, se requiere del riego, lo que implica el desarrollo de obras de ingeniería. Para que exista una agricultura basada en la lluvia es necesario que ésta se encuentre más o menos uniformemente distribuida en el tiempo y que alcance ciertos valores totales compatibles con el periodo vegetativo y la demanda de los cultivos, de modo que la lluvia efectiva sea capaz de servir para el desarrollo de los procesos de las plantas. Esta condición no se da en la costa peruana. Se debe tener presente que el desarrollo de las zonas áridas y semiáridas

depende del modo como la población resuelva sus problemas hidráulicos. Uno de esos modos, el tradicional en la costa peruana, ha sido el desarrollo de proyectos de irrigación. Se denomina irrigación, en el más amplio sentido del término, al conjunto de acciones y obras encaminadas a lograr el desarrollo socioeconómico de una región árida o semiárida, a partir del aprovechamiento racional y armónico de los recursos hidráulicos. Las irrigaciones constituyen esfuerzos gigantescos por modificar la naturaleza, por corregirla en provecho de los seres humanos.

Las obras de irrigación significan la construcción de presas, defensas ribereñas, bocatomas, canales, drenes, etc. Todas ellas para “corregir la naturaleza”, para transformar un clima seco en un lugar en el que mediante el riego pueda ser apto para el desarrollo agrícola y la vida en general. Pero estas obras son vulnerables en mayor o menor grado al violento cambio climático que se produce durante el FEN. Todo lo expuesto confirma la necesidad de considerar que en la costa norte del Perú el agua, por escasez o por abundancia, debe ser la variable que controle su planificación. Así como la hiperaridez llevó al poblador desde hace miles de años al desarrollo de proyectos de riego que hicieron posible la vida, así, hoy, se debe ampliar la perspectiva y, en consecuencia, aprender a convivir con el exceso de agua característico del FEN.

Las obras de ingeniería construidas para mejorar las condiciones de vida de la población sufren durante los grandes Niños y, eventualmente, son destruidas totalmente [20, 22]. Así por ejemplo, antes de que se construyese en las últimas décadas del siglo XX las grandes obras de ingeniería hidráulica capaces de soportar con mayores probabilidades de éxito la fuerza del FEN, las infraestructuras eran pequeñas y vulnerables, por lo que luego de cada evento extraordinario que lo destruía todo, había que empezar de nuevo y reconstruir las mismas obras. Algunas de las antiguas civilizaciones no soportaron tal grado de destrucción y sucumbieron. En algún momento la historia del nacimiento y muerte de las grandes culturas prehispánicas de la costa peruana tendrá que analizarse en función de la ocurrencia del Fenómeno de El Niño

Las 840 000 hectáreas de la costa en las que es posible la vida humana son una gran obra de irrigación, construida y reconstruida durante años por el hombre para lograr que en un ambiente predominante árido pueda desarrollarse agricultura. La aparición del Fenómeno de El Niño significa la alteración eventual de ese clima predominantemente seco y la ocurrencia de grandes lluvias y descargas de los ríos que tienden a destruir todo lo que el hombre hizo para poder vivir en la costa. Así como la aridez nos lleva a obras de irrigaciones, el exceso de agua tiene que llevarnos a la indispensable prevención. Y esa es la vida en la costa peruana: un eterno contraste entre la falta y la abundancia de agua.

Vulnerabilidad de la costa frente al FEN

Está pendiente en nuestro país describir y sistematizar, para su posterior evaluación y prevención, los diferentes daños que ocurren o pueden ocurrir durante los grandes Niños. Esto es importante porque el conocimiento de los daños causados, o que pueden causar los grandes Niños, debe ser el punto de partida para el planeamiento de las acciones para contrarrestar sus efectos. El estudio de los daños es en buena cuenta el punto de partida del estudio de la vulnerabilidad de la costa peruana. No se debe olvidar que el estudio de las fallas es una de las principales fuentes de conocimiento.

El impacto del FEN es diferente en cada época. En el pasado el mayor impacto no era en las infraestructuras, pues éstas no eran tan numerosas ni tan importantes como ahora, sino en las vidas humanas. Durante el Fenómeno de El Niño las condiciones sanitarias empeoraban notablemente y se propagaban enfermedades infecto contagiosas. Había también notable escasez de alimentos y en muchos casos hambrunas. Los medios de transporte y la comunicación con el resto del país tenían grandes deficiencias lo que impedía la ayuda. En cambio, en los Meganiños más recientes los principales daños han estado vinculados a las infraestructuras y a la situación económica en general.

El impacto de un Meganiño en la vida y la economía de la población depende mucho de cual era la situación social y económica preexistente a su aparición. Así mismo, siempre se da que los grupos humanos más castigados son los más pobres, porque están menos preparados para enfrentarse a la nueva situación climática creada y porque su capacidad de respuesta para la reconstrucción y recuperación es mucho menor. El tema de los daños no puede desligarse del de la vulnerabilidad. Frente a un mismo evento natural los daños pueden ser mayores o menores según la vulnerabilidad de cada lugar. Es difícil realizar una clasificación rigurosa de los daños, pero debe intentarse hacerlo considerando los aspectos más importantes. Sin embargo, debe señalarse que la relación que se ha preparado, y que se presenta más adelante, de las actividades que usualmente se ven afectadas por los Meganiños tiene el carácter más general posible y con ella se pretende demostrar la gran amplitud de los daños posibles. Los principales daños asociados a los grandes Niños se relacionan con lo siguiente:

A) El hombre y su hábitat

- Vidas humanas y salud de la población.
- Ciudades, viviendas y edificios
- Instalaciones y servicios públicos urbanos

B) Naturaleza

- Curso de los ríos. Geodinámica, paisaje.
- Vida animal. Flora y fauna silvestres y especies en extinción.

C) Infraestructura mayor

- Carreteras, puentes y ferrocarriles
- Obras hidráulicas
- Puertos y aeropuertos

D) Agricultura y ganadería

- Infraestructura menor de riego y drenaje
- Tierras agrícolas y cultivos. Plagas
- Producción pecuaria
- Caminos rurales

E) Fauna marina

- Actividad pesquera y afines.
- Fauna marina en general
- Instalaciones, Industrias y Servicios Varios

F) Instalaciones diversas

- Hidroelectricidad
- Abastecimiento de agua, etc.

G) Ruinas arqueológicas

H) Estaciones de observación

- Hidrológicas y meteorológicas

I) Actividades económicas y comerciales

- Disminución del Turismo
- Aspectos socioeconómicos: disminución de la calidad de vida, migraciones, etc.
- Economía: Disminución del PBI, etc.

De todo lo expuesto se deduce con claridad la enorme vulnerabilidad de la costa norte del Perú frente a la aparición eventual del Fenómeno de El Niño [13, 19]. En realidad su vulnerabilidad es más amplia, pues así como se presenta el FEN, en otras oportunidades han ocurrido intensas sequías. Se podría decir que la suerte de la costa peruana está vinculada al exceso o al defecto de agua. A su vez, el clima de la costa depende fuertemente de lo que ocurre en el mar. Por lo tanto, en última instancia, la suerte de la costa norperuana depende del mar y de lo que suceda a miles de kilómetros cuando se inicia una compleja manifestación climática de origen oceanográfico-atmosférico que determina para un año dado la sequedad o la abundancia de agua en la costa.

El Fenómeno de El Niño debe ser considerado por la ingeniería como lo que es: un fenómeno natural que puede convertir en desastre la condición de vida de numerosos seres humanos. Si miramos el Fenómeno desde el punto de vista del ingeniero proyectista nuestra atención tendrá que centrarse, no

en el pronóstico, si en el conocimiento de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno climático de determinada magnitud para su apropiada consideración en los proyectos y diseños de ingeniería [24].

Referencias Bibliográficas.

1. CIEZA DE LEÓN, Pedro **La Crónica del Perú.** PEISA. Lima, 1988
2. CHECA EGUIGUREN, Alfredo **La sequía en el valle regado por el río Piura.** Conferencia. Club Departamental Piura, Lima, 1951.
3. COLLIN DELAVALD, Claude **Las regiones costeñas del Perú septentrional.** CIPCA-Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.1984
4. Juan de Arona **Diccionario de Peruanismos.** Biblioteca Peruana Lima 1975
5. PALMA, Ricardo **Tradiciones Peruanas,** Tomo II. Editorial Cultura Antártica, Lima, 1951., Lima, 1951.
6. PETERSEN, George **Estudios climatológicos del noroeste peruano.** Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. Tomo VII, Fasc. 2 Lima, 1935
7. REPÚBLICA DEL PERÚ **Reglamento para la distribución de las aguas del río Piura.** Resolución Suprema del 18 de noviembre de 1926. Lima
8. RIVERA MARTÍNEZ, Edgardo **Antología de Trujillo** Fundación Manuel J. Bustamante De La Fuente Lima. 1998.
9. ROCHA FELICES, Arturo **El Desarrollo de la Región Grau y el Convenio Peruano-Ecuatoriano de Aprovechamiento Hidrográfico Conjunto,** ponencia presentada al VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, publicada en las Memorias del Congreso y reproducida en la revista El Ingeniero Civil, N° 69, Nov-Dic. 1990.
10. -----, **Recursos Hidráulicos** Colección del Ingeniero Civil. Colegio de Ingenieros del Perú. Lima, noviembre 1993.
11. -----, **La ingeniería civil ante el Fenómeno de El Niño.** Primer Congreso Panamericano de Ingeniería Civil y Planificación. Conferencia Inaugural. CIP-UPADI. Lima, noviembre 1998.
12. -----, **El impacto del Fenómeno de El Niño en las estructuras hidráulicas.** Primer Foro Regional de Ingeniería Civil del Norte Peruano. Colegio de Ingenieros del Perú. Trujillo, junio 2000.
13. -----, **El Meganiño de 1578.** Revista del Capítulo de Ingeniería Civil del Consejo Departamental de Lima del Colegio de Ingenieros del Perú. Año 6, Número 28, Lima, 2002.
14. ----- **La ingeniería frente al Fenómeno de El Niño.** Segundo Curso Internacional sobre "Mitigación de los efectos del Fenómeno de El Niño". Conferencia inaugural. CISMID. UNI. (2002). Reproducido en la Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Civil - UNI, Año 01 N° 1, Lima, 2003.
15. -----, **Interacción del comportamiento fluvial y las obras viales durante el Fenómeno de El Niño.** II Congreso Nacional de Obras de Infraestructura Vial. ICG. Lima, agosto 2003.
16. -----, **El riesgo sedimentológico (ERS) en los proyectos de embalse.** XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Iquitos 2003.
17. -----, **Caracterización hidrometeorológica de los Meganiños en la costa norte peruana.** Revista El Ingeniero Civil N° 135, Lima, Set.-Oct. 2004

18. -----, **El impacto del Fenómeno de El Niño en las obras de ingeniería.** Conferencia. Colegio de Ingenieros del Perú. Consejo Departamental Ancash-Chimbote, agosto 2003.
19. -----, **La inundación de Zaña de 1720.** XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Iquitos, octubre 2003.
20. -----, **Consideraciones de diseño en estructuras hidráulicas sujetas al Fenómeno de El Niño.** Revista COSTOS Construcción, Arquitectura e Ingeniería. Año 09 Edición 118. Lima, enero 2004.
21. -----, **Aspectos sedimentológicos del Manejo de Cuencas en zonas áridas sujetas al Fenómeno de El Niño.** II Simposio Latinoamericano de Control de la Erosión. Lima, 2004
22. -----, **Problemas en el diseño de estructuras hidráulicas a la luz del Fenómeno de El Niño y de la escasez de mediciones.** Conferencia. Comité Peruano de Grandes Presas. Lima, 2004.
23. -----, **El impacto del Fenómeno de El Niño en el desarrollo del norte peruano.** (en preparación).
24. -----, **El Niño: ¿Un desastre o un Fenómeno?** (en prensa)
25. ROSTWOROWSKI DE DIEZ CANSECO, María **Recursos naturales renovables y pesca, siglos XVI y XVII.** Instituto de Estudios Peruanos, Lima, 1981
26. SCHWEIGGER, Edwin **El litoral peruano** Lima, 1964
27. ZÁRATE, Agustín de **Historia del descubrimiento y conquista del Perú.** Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. 1995. ■