

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA
CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
Jr. Cahuide 805- Apto. 1308
Lima, Perú
Fax 4722467



**MODELOS DE PRONOSTICO A LARGO PLAZO DEL FENOMENO
EL NIÑO Y DE UN OPTIMO MANEJO
DE SISTEMAS HIDROENERGETICOS**

Proyecto presentado por

*Centro de investigación y Desarrollo
del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
(Perú)*

y

Tecnostudi Ambiente S.r.l. (Italia)

*Centro de Entrenamiento e Investigación
para el Control del Sistema Agua
(HYDROCONTROL - Italia)*

Instituto Meteorológico Max Plank (Alemania)

*Universidad Nacional de Colombia
- Facultad de Minas (Colombia)*

Coordinador Nacional :

Dr. CARLOS BUSTIOS DAVILA,

Setiembre, 1995

ATS

MODELOS DE PRONOSTICO A LARGO PLAZO DEL FENOMENO EL NIÑO PARA UN MANEJO OPTIMO DE SISTEMAS HIDROENERGETICOS

I. INTRODUCCION

El fenómeno ENSO (EL Niño Oscilación del Sur) ha sido estudiado ampliamente, a través de un enfoque histórico y paleoclimáticos que nos permite un conocimiento detallado de la extensión geográfica del ENSO y de su relación con diversos índices indirectos entre los que podemos citar a los anillos de los árboles, a los sedimentos de corales y a los núcleos de hielo siendo este último investigado por el SENAMHI en convenio con HIDRANDINA y la Universidad de OHIO U.S.A en los nevados de Perú: Quelcaya y Huascarán); no obstante ello en estos últimos años sus consecuencias y pérdidas (inundaciones y sequías) se han incrementado de una manera preocupante.

Actualmente no hay modelos meteorológicos exactos que nos permitan predecir con adelanto suficiente la ocurrencia del fenómeno ENSO, hay unos pocos modelos meteorológicos estadísticos a corto plazo que sirven para reproducir el promedio de las condiciones históricas pero no los eventos meteorológicos extremos.

Es en este sentido es que el Comité Científico mixto CCM integrado por el Programa Mundial de investigaciones Climáticas PMIC, el Consejo Internacional de Uniones Científicas CIUC y La Organización Meteorológica Mundial OMM recomiendan desarrollar programas Nacionales y Regionales dirigidos a comprender, modelar y predecir las variaciones del clima (Programa CLIVAR) mediante nuevos y avanzados modelos integrales acoplados con el fin de promover los usos de la hidroenergía como tecnología limpia y eficiente bajo un manejo sostenible.

Conocedores del Impacto del Fenómeno ENSO a nivel mundial estudiados en los programa TOGA y WOCE y del avance científico de las tecnologías tanto de países europeos como americanos, así como de los graves efectos en el continente Sudamericano particularmente en el territorio Peruano donde estos efectos son intensos ocasionando en la Costa Norte Inundaciones y en la Sierra Sur sequías extremas de enormes repercusiones económicas.

De ahí que surge el interés en proponer desarrollar un modelo en conjunto Centros Europeos y latinoamericanos especializados en el campo de la hidrometeorología. Es así que el Centro de Investigación y Entrenamiento para el control de Sistemas de Agua (HYDROCONTROL), El Instituto Meteorológico Max Plank, Tecnostudi Ambiente S.r.l, La Universidad Nacional DE

26m2009

PRO: DIK. CIENTÍF.

colombia (Medellín), y El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI formularon una propuesta de investigación científica orientada a desarrollar un modelo de pronóstico del Fenómeno el Niño a largo plazo para un óptimo manejo de sistemas hidroenergéticos, el mismo que fue presentado a la Comisión Europea para su aprobación y financiamiento.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GENERALES :

1. Desarrollar un modelo meteorológico de pronóstico para predecir un avance sobre las variabilidades más importantes del clima en la Banda tropical: El fenómeno ENSO (El Niño Oscilación del Sur)
2. Desarrollar un modelo de simulación de operación de los sistemas de embalse que use el pronóstico meteorológico a largo plazo para planificar y maximizar la generación de hidroeléctricas de acuerdo a un desarrollo medioambiental, social y económico sostenible.
3. Aplicación de los modelos desarrollados en un sistema hidroenergético en la Región Andina.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS MEDIBLES

- 1) Desarrollar modelos meteorológicos acoplados a partir del modelo global Océano- Atmósfera a modelos regionales estadísticos para predecir eventos ENSO con uno año de anticipación.
- 2) Desarrollar un modelo hidrológico de la cuenca piloto experimental para pronosticar la escorrentía en los sistema de los embalses usando las predicciones meteorológicas a largo plazo.
- 3) Desarrollar un modelo hidráulico de los sistemas hidroenergético de los embalses y un modelo de optimización multiobjetiva apuntando a definir reglas para su operación multitemporal.
- 4) Aplicación de los modelos en cadena para los sistemas de generación hidroeléctrica de un servicio público autorizado (Empresas Publicas de Medellín-Colombia)

- 5) Desarrollar con anticipación el contenido de campañas de sensibilización pública para reducir el consumo energía eléctrica en caso de predicciones de sequías extremas debido al fenómeno ENSO

2.3 MARCO POLITICO DE LA INVESTIGACION

- a) **Tópicos Específicos:** Integraciones entre las políticas de energía, economía y medio ambiente con el fin de promover sistemas energéticos limpios y eficientes compatibles con el manejo sostenible de los recursos naturales.

Algunos países latinoamericanos tienden a aumentar la producción de termoeléctricas usando gas y otros combustibles fósiles más que las hidroeléctricas tradicionales debido a las recientes incertidumbres hidrometeorológicas.

La propuesta desarrollará instrumentos de planificación para tomar decisiones en la planificación y reducir incertidumbres garantizando un suministro de energía limpia a través del uso de hidroeléctricas.

- b) **Nivel Científico:** La propuesta desarrollará instrumentos de alto nivel científico para investigar y pronosticar anomalías meteorológicas del clima en la Banda Tropical y estimar el impacto en el Sector hidroeléctrico.

Los participantes: Centros Europeo y latinoamericano están especializados sobre dichas áreas de la investigación.

- c) **Carácter Precompetitivo:** Será posible industrializar y optimizar los modelos de software desarrollados con un usuario de interfase para comercializarlo, o integrarse dentro de un sistema de monitoreo.

- d) **Beneficios Económicos y Científicos:** El Fenómeno ENSO 1982/83 ocasionó grandes pérdidas a la Economía Nacional de Perú, debido a la ocurrencia de lluvias intensas en la Costa Norte las mismas que ocasionaron pérdidas de vidas humanas, de ganado y de cultivos; destrucción de carreteras y vías de comunicación. Contrariamente, en la Sierra Sur de Perú el ENSO ocasionó una grave sequía que causó grandes pérdidas de cultivos y ganado.

El Fenómeno ENSO 1991-92 en la zona Centro Altoandina de Perú donde se localizan las principales centrales hidroenergéticas estuvieron a punto de colapsar por la falta de agua lo que motivó un programa de emergencia Nacional dotándose de fuertes inversiones a un programa de

lluvia artificial en la cuenca del río Mantaro, Yauli y Pachacayo.

El Fenómeno ENSO 1991-1992 causó también que Colombia sufriera un corte de corriente de energía de casi 1 año, debiendo racionarse 5000 GWh.

De conocerse anticipadamente el fenómeno ENSO se podrían tomar las medidas preventivas, las que serían beneficiosas ya que ocasionaría un incremento en el volumen de agua almacenado en los reservorios ubicados en la Costa Norte Del Perú. Así también el exceso de precipitación permitirían el crecimiento de pastos para soportes agropecuarios.

- e) **Dimensión del Centro Europeo:** La propuesta de la investigación contribuye a aumentar los conocimientos de la Comunidad Europea sobre los fenómenos meteorológicos tropicales. Actualmente gran parte de los países latinoamericanos usan solo boletines meteorológicos producto de agencias del E.E.U.U. La propuesta contribuirá con dar una solución por parte del integrante Europeo al problema de la planificación de la hidroenergía.
- f) **Explotación Potencial de los resultados:** La propuesta desarrollará herramientas para la toma de decisiones dando soporte a otras regiones como Africa, Sudamérica y Asia del Este, donde el fenómeno ENSO ha producido anomalías en estos países causando considerables pérdidas económicas por inundaciones y/o sequías
- g) **Integración interdisciplinaria:** La propuesta de esta investigación tiene carácter interdisciplinario y complementario, en particular la propuesta integra investigadores en meteorología, hidrología, hidráulica, economía y sociales, con la finalidad de hallar soluciones a un problema específico. Además para la irrigación en actividades agrícolas y para el suministro de agua para uso doméstico se requieren de un manejo del embalse de agua.
- h) **Políticas de Desarrollo Nacional:** Se garantiza la participación regional de latinoamérica y Nacional de autoridades en hidrometeorología y generación del hidroenergía- SENAMHI (Perú) y EPM (Colombia)
- i) **Soluciones a problemas Prioritarios:** Se desarrollarán modernos modelos hidrológicos e hidráulicos junto con un modelo de pronóstico meteorológico regional de alta resolución, para planificar la generación de hidroenergía durante las épocas de sequía

3. REVISION BIBLIOGRAFICA

3.1 Modelos Meteorológicos:

Durante las ultimas décadas se desarrollaron modelos globales y regionales para pronósticos a corto plazo (pocos días), sin embargo el carácter cualitativo (condiciones de la estabilidad del tiempo, condiciones secas o lluviosas) y la baja resolución espacial (20000 a 90000 km²) hacen difícil su uso en hidrología.

Los esquemas de predicción del ENSO han sido desarrollados en jerarquía los mismos que incluyen esquemas estadísticos y modelos físicos. Generalmente los modelos estadísticos se basan en las técnicas estadísticas avanzadas y se clasifican en modelos que usan predictores ya sea en la parte baja - frecuencia de las variaciones atmosféricas (presión del nivel del mar o vientos superficiales) o en la parte alta- contenido de calor oceánico. El modelo físico consiste de modelos acoplados atmósfera - océano de varios grados de complejidad, variando desde modelos acoplados simples del tipo "aguas-superficiales" hasta modelos acoplados de la circulación general. Todo los modelo estadísticos y físicos pronostican considerablemente mejor que los pronosticos persistente en predecir índices típicos del ENSO con un tiempo de 6 a 12 meses. Los esquemas de predicción mas exitosos, los modelos acoplados totalmente físicos océano-atmósfera muestran una significativa habilidad para pronosticar hasta por un año de ahí que concluimos que el ENSO es predecible por lo menos con un año de anticipación.

Sin embargo todo esto se aplica para obtener indices del ENSO tales como el índice de oscilación del Sur. A pesar de la predicción demostrada, se conoce muy poco sobre la predicción de características específicas que se sabe están asociadas con el ENSO (por ejemplo lluvias de los monzones en la India, Sequías en Africa del sur o temperatura calidas superficiales del mar en la zona Ecuatorial). La importancia para predecir anomalías regionales diferentes o procesos físicos diferentes aun no se han establecidos. Una dependencia estacional en la predicción está bien establecidas pero los agentes responsables de tales procesos aún no están totalmente entendidos.

Recientemente debido a las necesidades medioambientales y gracias a la disponibilidad de excelentes super computadoras, la comunidad científica ha empezado a desarrollar modelos meteorológicos regionales de alta resolución (Modelos de Area Limitados LAM) y modelos acoplados.

3.2 MODELOS HIDRÁULICOS E HIDROLOGICOS:

A principio de los setenta, diferentes Autoridades nacionales del recurso Agua desarrollaron una serie de modelos para manejar el agua y diseñar estructuras hidráulicas, la gran parte de estos modelos son muy simples y necesitan pocos datos para ejecutarlo. Estos modelos se conocen como modelos hidrológicos operacionales.

En la última década la disponibilidad de energía eléctrica y bajos costos del hardware, datos espaciales de alta resolución, paquetes de software como el sistema de información geográfica y los requerimientos medioambientales y sociales permiten una nueva generación de modelos de simulación del agua.

En 1986 se desarrolló el modelo SHE (Siste'me Hydrologique Europe'en) quien usó una aproximación física totalmente distribuida, sin embargo la operación limitada de estos modelos hacen difícil la solución de los problemas hidrológicos a nivel diario.

Recientemente ha empezado el desarrollo de nuevos modelos hidrológicos, "el problema orientado a modelos modernos". Estos modelos pueden estar localizados entre las dos categorías de modelos descritos anteriormente y pueden usar información del elemento de la grilla desde la cartografía digital, satélite, radar meteorológico o modelos meteorológicos.

Los modelos del manejo del sistema de los embalses se basan en el balance de agua y pueden tomar en cuenta diversos requerimientos, funciones de las plantas de energía. Estos modelos usan como entrada la salida de otros modelos hidrológicos.

La primera generación de modelos del manejo de embalses usa simples metodologías interactivas para solucionar problemas específicos. Recientemente se han desarrollado nuevas metodologías matemáticas que puede contribuir con la planificación multitemporal y operación de un sistema de embalse.

La próxima generación de modelos de manejo de embalses será ejecutado junto con modelos hidrometeorológicos avanzados usando metodologías de optimización sofisticadas, como optimización multiobjetiva, programación lineal y dinámica, programación estocástica, agregación-desagregación, y simulación interactiva.

4. CONTENIDO DEL PROYECTO:

Se estructura la propuesta de esta investigación en tres bloques temáticos o paquetes de trabajo, cada paquete de trabajo esta subdividido en tareas y actividades; y se une cada paquete de trabajo con los otros a través de la línea de flujo que se muestran en fig.1.

Este proyecto esta dividido en tres grandes Paquetes de Trabajo:

- A) PT 100: MODELOS METEOROLOGICOS
- B) PT 200: MODELOS DE SIMULACION HIDRAULICO E HIDROLOGICO
- C) PT 300: ANALISIS DE ESCENARIOS POTENCIALES

El Centro de Investigación y Entrenamiento para el control de Sistemas de Agua (HYDROCONTROL), El Instituto Meteorológico Max Plank, Tecnostudi Ambiente S.r.l, La Universidad Nacional de Colombia (Medellín), y El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI de Perú, manejarán el Proyecto íntegro a través de un Staff de Investigadores altamente especializados de cada país .

El SENAMHI conjuntamente con el Instituto Max Plank se encargarán de ejecutar el paquete " Modelos meteorológicos", apoyando también en los paquetes de trabajo PT 200 : Tarea 210 y en el paquete PT 300: tareas T310, T320, y T330.

Hydrocontrol y la Universidad de Medellín se encargarán de ejecutar el paquete "Modelos de Simulación Hidráulico e Hidrológico", apoyando también en el paquete PT 300: tareas T310, T320 y T330

A continuación se presenta una descripción técnica y y científica de cada paquete de trabajo.

2.1 PT 100: MODELOS METEOROLÓGICOS

El ENSO ha sido estudiado ampliamente sin embargo en los últimos años las consecuencias y pérdidas se han incrementado en forma severa. hasta la fecha no hay modelos meteorológicos capaces de pronosticar exactamente la ocurrencia del fenómeno ENSO con suficiente anticipación

El paquete de trabajo se subdivide en tareas y cada tarea

en actividades. Las tareas son las siguientes:

- T 110: Conducción de un conjunto de pronóstico del fenómeno El NIÑO.
- T 120: Uso de anomalías de temperatura superficial del mar pronosticadas sobre un modelo atmosférico global.
- T 130: Desarrollo de una estrategia de calibración

Descripción de la tarea y actividades de la tarea:

T 110: Conducción de un conjunto de pronóstico del fenómeno El NIÑO.

Se conducirá un conjunto de pronósticos del ENSO mediante un modelo Híbrido acoplado atmósfera-océano (HCM). Estos pronósticos nos darán información acerca de la futura evolución de las anomalías de la TSM en el Pacífico Tropical que es el parámetro más importante por el impacto del ENSO.

Tales modelos acoplados relativamente simples muestran dar pronósticos confiables del ENSO. Además, su ejecución es económica tal es así que dichos modelos pueden ejecutarse también en países que no tienen accesos a grandes super computadoras.

En esta tarea se usará las metodología clásicas meteorológicas.

Actividades:

- a) Diseñar un modelo solamente oceánico que se ejecute forzado por la dirección de los vientos y observaciones oceánicas para obtener el estado inicial para las predicciones con el modelo acoplado Híbrido.
- b) Conducir un conjunto de pronóstico del ENSO con el HCM.
- c) Determinar la habilidad del HCM para evaluar la habilidad del modelo acoplado Híbrido en los pronósticos de los cambios de la TSM en el Pacífico Tropical.

T 120: Uso de anomalías de la temperatura superficial del mar pronosticadas sobre un modelo atmosférico global.

Se usará un modelo de la Circulación General de la Atmósfera de alta resolución global (ECHAM) para obtener

respuesta atmosféricas globales en "tiempo real". Esta aproximación de " Dos capas " actualmente es superior al modelo de la Circulación General de la Atmósfera acoplado (CGCM); ya que el CGCM aún adolece de las corrientes climáticas, las cuales pueden tener un impacto negativo sobre los pronósticos del ENSO.

Se ha llegado a demostrar que para casos de ENSOS muy intensos, estos modelos (ECHAM) dan pronósticos de precipitación y temperatura superficial casi exactos sobre los Trópicos, sobre parte de Norte América y sobre Sudafrica.

Actividades:

- a) Conducir Experimentos usando el Modelo ECHAM (T-42)
- b) Verificar la respuestas atmosféricas a las TSM's pronosticadas en las regiones de interés.
- c) Desarrollar in situ y a posteriori esquemas MOS para mejorar los pronósticos de parámetros atmosféricos.

T 130: Desarrollo de una estrategia de Calibración

El paso final involucra la calibración de la información pronosticada a escala regional que no son resueltas por el modelo atmosférico. Tal información a pequeña escala es crucial para los sistemas hidrológicos . El modelo atmosférico ECHAM se correrá en una resolución T-42 que corresponde aproximadamente a una grilla de 2.8 x 2.8 grados. Tal resolución no es adecuada para los sistemas hidroenergéticos. La mejor aproximación parece ser la calibración estadística. Se usará una relación empírica derivado de observaciones para relacionar los flujos atmosféricos a gran escala a las anomalías climáticas sobre una escala regional pequeña. La estrategia de calibración estadística ha sido usada exitosamente en estudios de los cambios climáticos. Para este propósito la información regional del clima y las actividades del procesamiento de los datos será provisto por los participantes latinoamericanos .

Actividades:

- a) Preparación de la entrada de datos climáticos regionales en colaboración con las instituciones participantes.
- b) Investigar la relación entre los datos del clima regional y los parámetros atmosféricos a gran escala.
- c) Diseño de pronósticos de las variables climáticas regionales requeridas. Definición de los parámetros del modelo



4.2 PT 200: MODELOS DE SIMULACION HIDRAULICOS E HIDROLOGICOS

Se desarrollarán modernos modelos hidráulicos e hidrológicos en este paquete de trabajo. Las predicciones de los modelos meteorológicos desarrollados en PT100 Se usarán como entrada de estos modelos.

La cadena de modelos desarrollados se calibrarán con una cuenca experimental Colombiana, donde está uno de los sistemas de hidroenergéticos más grande en dicho País.

El paquete de trabajo esta Subdividido en tres tareas, y cada tarea esta subdividida en :

- T 210: Caracterización de la cuenca experimental de los esquemas hidráulicos del sistema de embalses, definición de necesidades y actividades.
- T 220: Desarrollo del modelo hidrológico y modelo de gestión optimizada de embalses de uso múltiple.
- T 230: Calibración del modelo.

Descripción de la tarea y actividades de la tarea:

- T 210: Caracterización de la cuenca experimental y definición de los esquemas hidráulicos del sistema de embalses de la cuenca hidrográfica del río Cauca - Colombia, definición de necesidades y actividades.

La caracterización de la cuenca es el primer paso en cualquier gestión hidrológica, el conocimiento de los procesos hidrológicos históricos y físicos y la definición de las condiciones y requerimientos que los modelos tienen al respecto son fundamentales para el desarrollo de los modelos y para garantizar correctos resultados .

En esta tarea se usará las metodología clásicas hidrológica.

Actividades:

- Una vez que los datos escogidos han sido obtenidos, es necesario:
- a) Construir una base de datos hidrometeorológicos y recopilación bibliográfica,

- b) Realizar un análisis estadístico de los datos históricos termopluviométricos,
- c) Caracterizar la cuenca del reservorio hidrológico,
- d) Definir la demanda de agua y energía eléctrica,
- e) Definir la política económica, social y medioambiental,
- f) Definir los horizontes temporales con sus correspondientes necesidades; y
- g) priorizar los diferentes usos conflictuales.

T-220: Desarrollo del modelo hidrológico y del modelo óptimo de los embalses hidroeléctricos.

El desarrollo de los modelos de simulación hidráulica hidrológica del sistema de embalses es la actividad más importante innovativa en este paquete de trabajo.

Particularmente se desarrollará un modelo hidrológico distribuido y un modelo moderno de embalse.

Uno de los primeros usos de la pluviometría obtenida de los modelos meteorológicos de las subcuencas hidrográficas y la serie de entrada de escurrimiento a los sistemas de embalse.

El segundo uso de la serie de escurrimiento de la cuenca del modelo hidrológico nos da el funcionamiento óptimo del sistema de generación hidroenergética, de acuerdo a una serie de requerimientos económicos, sociales y medioambientales.

Sólo con los modelos hidrológicos distribuidos es posible considerar la alta variabilidad espacio-temporal de las entradas hidrometeorológicas y de las características de la cuenca (cobertura de suelo y tipos de suelo). Además es posible evaluar sus efectos en la cuenca piloto.

Para este modelo se usará una aproximación conceptual distribuida.

El Modelo del sistema de embalse usa procedimientos interactivos para encontrar la estructura optimizada del sistema con respecto a ambas condiciones internas y externas.

Por eso se usará en este modelo un análisis multiobjetivo y una programación dinámica.

Actividades:

- a) Diseño de los modelos,
- b) Definición de funciones del modelo y selección de metodología,
- c) Desarrollo de los modelos hidrológicos;
- d) Desarrollo del modelo de embalse.

T 230: Calibración de los modelos.

Esta tarea usa los resultados de las dos tareas precedentes. La tarea de calibración ayuda a seleccionar y fijar los parámetros de los modelos para reproducir los procesos físicos. El éxito del paquete de trabajo PT-300 "análisis de escenarios" depende de la exactitud de esta tarea. Se escogen los parámetros del modelo según la caracterización de la cuenca (tarea 210).

Sin embargo algunos procesos hidrológicos tienen que estar cuantificados al inicio y luego podrán ser modificados por pruebas clásicas y metodología del error.

Actividades:

- a) Preparación de la entrada de datos y selección de condiciones operacionales,
- b) Prueba del modelo hidrológico,
- c) Definición de los parámetros del modelo de la cuenca,
- d) Prueba de modelo del embalse,
- e) Definición de los parámetros del modelo del embalse.

4.3 PT - 300:ANALISIS DE ESCENARIOS

Análisis del escenario "previsión Meteorológica" previsto por el modelo diseñado en PT100, que se usará como entrada para los modelos: hidrológico y simulación experimental del sistema de embalses.

Diferentes escenarios críticos se simularán para conocer la respuesta global del sistema.

Se definirán los contenidos de las campañas de sensibilización públicas en las peores condiciones para reducir el consumo de la energía eléctrica.

La unión entre los modelos de pronóstico meteorológico a largo plazo y los modernos modelos hidráulicos son el principal aspecto innovativo en este paquete de trabajo.

El paquete de trabajo se divide en tres tareas, y cada tarea se subdivide en actividades :

- T310: Simulación experimental de modelos meteorológico, hidrológicos e hidráulicos.
 T320: Análisis potencial de los escenarios.
 T330: Campañas de sensibilización públicas y medidas de emergencia.

Descripción de las tareas y actividades por tarea:

T-310: Simulación experimental de modelos meteorológico, hidrológicos e hidráulicos.

En esta tarea se ejecutarán sucesivamente los tres modelos desarrollados, en particular se probará el formato de entrada /salida y uniones entre los modelos.

Una vez verificada la continuidad del proceso, se probará la operatividad usando los pronósticos hidrometeorológicos reales para la región experimental .

Actividades:

- a) Selección de datos de la previsión y condiciones iniciales
- b) Ejecución del modelo de pronóstico meteorológico
- c) Preparación de la entrada de datos de precipitación pronosticada
- d) Ejecución del modelo hidrológico
- e) Ejecución del modelo del sistema de embalses.

T-320: Análisis de los escenarios potenciales.

En esta tarea, eventos históricos o escenarios futuros serán simulados y algunos escenarios críticos meteorológicos serán analizados para evaluar su impacto en recursos del agua y medidas del plan de emergencia.

Actividades:

- a) Selección de escenarios potenciales y condiciones iniciales
- b) Ejecución sucesiva de los modelos.

T-330: Campañas de sensibilización públicas y medidas de emergencia.

Esta tarea representa la cúspide de todo la propuesta de investigación. Con los resultados de los escenarios potenciales simulados será posible saber con anticipación las consecuencias de diferentes escenarios meteoroclimáticos, y medidas del plan de emergencia o nuevos trabajos para reducir el impacto.

Además según la intensidad del consecuencias pronosticadas,

se definirá el contenido de las campañas de la sensibilización públicas para la reducción del consumo de la energía eléctrica.

Actividades:

- a) Análisis de los potenciales escenarios simulados
- b) Definición de posibles estrategias
- c) Definición de campañas de sensibilización públicas

4.4 RIESGOS DE FRACASO Y OTRAS ALTERNATIVAS.

Actualmente, se lleva a cabo una planificación de los sistemas de generación hidroeléctrica en diferentes escalas temporales, rangos muy corto (unas horas), corto (unos días), medio (unas semanas) y grande (unos meses). Por cada escala temporal es posible usar metodologías diferentes para prever la disponibilidad de agua y consumo de energía.

Las metodologías clásicas de pronóstico consideran las incertidumbres en los modelos autoregresivos y estocástico con un ruido blanco (Modelos ARMA).

Es posible además usar metodologías más complejas que consideran índices macroclimáticos y otras variables.

Estas metodologías son:
agregación - desagregación, redes, análisis espectral singular, técnicas de optimización multiobjetivo y ecuaciones diferenciales de tercer orden; los modelos ARMA son simples y operacionales.

El riesgo que tiene el proyecto es de complejidad relativa, por el uso de modelos determinísticos cuasi físicos y la necesidad de contar con usuarios de experiencia.

Otro riesgo es la dependencia de los boletines meteorológicos de los Centros meteorológicos.

4.5 PRODUCTOS TECNICOS Y CONTROLES DEL PROYECTO

En la descripción de cada paquete de trabajo se indican claramente el resultado esperado en cada tarea y los responsables directos.

Los resultados se dividen en informes de avance y

productos científicos.

Durante la ejecución del proyecto, el coordinador enviará a la Comisión Europea 4 informes del progreso con una frecuencia de seis meses.

Los informes y cronogramas de trabajo son:

- 1) Un breve informe a los 6 meses
- 2) Un primer informe anual a los 12 meses
- 3) Un breve informe a los 18 meses
- 4) Un informe Final a los 24 meses.

Se constituyen los productos científicos por los resultados obtenidos durante las actividades de este proyecto de investigación.

Los principales productos científicos y tiempo de desarrollo son los siguientes:

- 1) MODELO DE PREVISIÓN METEOROLÓGICA REGIONAL: 15 meses
- 2) MODELO HIDROLOGICO CONCEPTUAL DISTRIBUIDO : 15 meses
- 3) OPTIMIZACION DEL MODELO DEL SISTEMA DE EMBALSE OBTENIDO : 15 meses
- 4) INFORME DE LOS ESCENARIOS POTENCIALES METEOCLIMATICOS SIMULADO : 24 Meses

Además de los informes técnicos habrá cuatro controles importantes durante el proyecto para verificar si los resultados parciales están de acuerdo con el plan de investigación.

En cada control se evaluará el avance del Proyecto mediante sesiones de reuniones técnicas.

El cronograma y criterio de evaluación en cada uno de los controles son:

Sesión Inicial a 1 mes para Planificación y organización de los trabajos,

Primera sesión a mediano plazo a los 10 meses para verificación de la arquitectura y funcionamiento de los modelos

Segunda sesión a los 16 meses para Pruebas sucesivas de la ejecución de los modelos

Sesión de control final para la evaluación de los resultados finales.

4.6 CRONOGRAMA SOBRE MODELOS DE PRONOSTICO A LARGO PLAZO DEL FENOMENO EL NIÑO Y DE MANEJOS DE SISTEMAS HIDROELECTRICOS

Tareas Numero	Primer Año (01/01/96 - 31/12/96)										Segundo Año (01/01/97 - 31/12/97)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
10	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
11	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
12	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
13	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

- 1. Coordinación
- 2. Conducción de un conjunto de pronosticos de El Niño
- 3. Uso de las anomalías de TSM sobre un modelo atmosférico global
- 4. Desarrollo de estrategias de calibración
- 5. Caracterización de la cuenca experimental,
- 6. Desarrollo de un modelo hidrológico
- 7. calibración de los modelos
- 8. simulación experimental de los modelos hidrológicos, meteorológicos y hidráulicos.
- 9. Analisis de escenarios potenciales
- 10. Campaña de sensibilización pública y medidas de emergencia
- 11. Intercambio de Staff
- 12. Sesiones técnicas
- 13. Informes de avances

4.7 MANEJO DEL PROYECTO

Durante el proyecto se llevará a cabo cuatro sesiones de reunión técnicas para cada evaluación de control de acuerdo a lo especificado en el punto 4.5 y a una serie de coordinaciones entre los investigadores para el desarrollo operacional de las actividades de este proyecto de investigación.

El intercambio de investigadores incluye un intensivo y especializado entrenamiento sobre los temas de investigación, intercambio de información y trabajos simultáneo en las actividades de la investigación, los intercambios pueden variar de uno a tres meses. El contenido y plan de intercambio entre los investigadores, será organizado por el coordinador del Proyecto en acuerdo con los otros países participantes, el diseño de los intercambios entre los investigadores se deberían definir durante los primeros meses del Proyecto.

El esquema de los paquetes de trabajo y sus respectivas tareas así como las Instituciones responsables se indican en la figura 1.

2.1 PT 100: MODELOS METEOROLÓGICOS

T 110: Conducción de un conjunto de pronóstico del fenómeno El NIÑO.

- 1) Diseñar un modelo solamente oceánico que se ejecute forzado por la dirección de los vientos y observaciones oceánicas para obtener el estado inicial para las predicciones con el modelo acoplado Híbrido.
- 2) Conducir un conjunto de pronóstico del ENSO con el HCM.
- 3) Determinar la habilidad del HCM para evaluar la habilidad del modelo acoplado Híbrido en los pronósticos de los cambios de la TSM en el Pacífico Tropical.

T 120: Uso de anomalías de la temperatura superficial del mar pronosticadas sobre un modelo atmosférico global.

- 1) Conducir Experimentos usando el Modelo ECHAM (T-42)
- 2) Verificar la respuestas atmosféricas a las TSM's pronosticadas en las regiones de interés.
- 3) Desarrollar in situ y a posteriori esquemas MOS para mejorar los pronósticos de parámetros atmosféricos.

**PT 100: MODELOS METEOROLÓGICOS
(IMP/M/S)**

T 110:Conducción de un conjunto de pronósticos de el NIÑO.

T 120:Uso de anomalías de la TSM del mar pronosticadas en el modelo atmosférico global.

T 130:Desarrollo de una estrategia de calibración .

**PT 200: MODELOS DE SIMULACIÓN
HIDRÁULICOS E HIDROLOGICOS
(HyC, T, UM.)**

T-210:Caracterización de la cuenca experimental de los esquemas hidráulicos del sistema de embalses, definición de necesidades y actividades.

T-220:Desarrollo del modelo hidrológico y modelo de gestión optimizada de embalses de uso multiple.

T 230:Calibración del modelo.

**PT- 300:ANALISIS DE ESCENARIOS
(IMP, S, UM, T, HyC)**

T-310:Simulación experimental de Modelos meteorológicos, hidrológicos e hidráulicos.

T-320:Análisis potencial de los escenarios.

T-330:Campañas de sensibilización pública y medidas de emergencia.

T 130: Desarrollo de una estrategia de Calibración

- 1) Preparación de la entrada de datos climáticos regionales en colaboración con las instituciones participantes.
- 2) Investigar la relación entre los datos del clima regional y los parámetros atmosféricos a gran escala.
- 3) Diseño de pronósticos de las variables climáticas regionales requeridas. Definición de los parámetros del modelo

PT 200: modelos de simulación Hidrológico e Hidráulico**T 210: Caracterización de la cuenca experimental, definición de necesidades y obligaciones.**

- 1) análisis Estadístico de datos históricos termopluviométricos.
- 2) Caracterización hidrológica de la cuenca del reservorio
- 3) Definición de las necesidades de agua y energía eléctrica
- 4) Definición de políticas económicas, sociales y medioambientales
- 5) Definición de los horizontes temporales y sus correspondientes necesidades.
- 6) Priorizar los diferentes usos conflictuales

T 220: Desarrollar un modelo hidrológico distribuido y un modelo de reservorio.

- 1) Estado del arte de los modelos
- 2) Definición de funciones del modelo y selección de metodologías
- 3) Desarrollo del modelo hidrológico
- 4) Desarrollo del modelo del reservorio

T 230: Calibración de los modelos.

- 1) Entrada de datos y selección de las condiciones operacionales
- 2) Prueba del modelo hidrológico
- 3) Definición de los parámetros del modelo de la cuenca
- 4) Prueba del modelo del embalse
- 5) Definición de los parámetros del modelo del embalse.

PT 300: Análisis de los escenarios**T310: Simulación experimental de los modelos meteorológico, hidrologicos e hidráulicos.**

- 1) Selección de la data a pronosticar y de las condiciones iniciales

- 2) Ejecutar el modelo de pronostico meteorológico
- 3) Preparación de entradas de datos precipitación pronosticadas
- 4) Ejecución del modelo hidrológico
- 5) ejecución del modelo de embalse.

T 320:Análisis de escenarios potenciales:

- 1) Selección de potenciales escenarios y condiciones iniciales
- 2) Ejecución secuencial de los modelos

T 330:Campañas de sensibilización pública y medidas de emergencia.

- 1) Análisis de los potenciales escenarios simulados
- 2) Definición de posibles estrategias
- 3) Definición de las campañas de sensibilización pública

5.- LOGROS DEL PROYECTO

El proyecto ha sido diseñado para reducir las incertidumbres hidrometeorológicas sobre la planificación operacional multitemporal de los sistemas hidroenergéticos durante las épocas de sequía.

Es claro que los principales beneficiarios son las autoridades en la generación eléctrica. Así también hay otros potenciales beneficiados como por ejemplo los que manejan el agua para diferentes usos como son (irrigación, bebidas y suministro de agua a las industrias industrial) y también para pronósticos de inundaciones.

Para pronósticos de inundaciones es necesario además de los pronósticos meteorológicos a largo plazo, de los pronósticos pluviométricos a corto plazo de alta resolución. Siendo estas últimas predicciones realizadas en base a radares meteorológicos y a satélites.

En esta propuesta concentramos nuestra atención en sequías, en particular porque después de las graves consecuencias pasadas en El fenómeno El Niño 1991 -1992 en Sudamerica, algunas autoridades regionales y de servicio nacionales públicas empezaron a pensar acerca de la construcción de plantas de termoeléctricas para evitar corte de corriente eléctricos en épocas de larga sequía.

El proyecto dará herramientas para saber con algunos meses de anticipación la ocurrencia de anomalías meteorológicas en particular del fenómeno ENSO y dará soporte a decisiones que tomar para reducir las incertidumbres hidrometeorológicas que garantice un continuo suministro de energía eléctrica a los usuarios, con reducciones programadas si es necesario.

Los beneficios potenciales socio-económicos del proyecto son muy importantes. Por ejemplo en Colombia en 1991-1992, debido al fenómeno ENSO había un déficit en producción de energía eléctrica de 5000 Gwh. Las industrias y la población debían soportar cortes de corriente de 21 horas al día por varios meses. Está importante evidencia que es la primera vez que sucede algo de tan gran dimensión en Colombia, país que es autosuficiente eléctricamente y sin embargo cerca del 80 % de la capacidad instalada es de origen hidráulico.

Hoy la tendencia es construir nuevas plantas termoeléctricas, sin embargo el impacto medioambiental de las plantas, causa costos eléctricos mas altos para los usuarios y para la economía en general.

Una alternativa a esta política es desarrollar tecnologías avanzadas e integrales e instrumentos científicos para un manejo óptimo del agua.

La complejidad e importancia del problema requieren la participación de investigadores especializados en sectores diferentes, así como de dos países europeos que garantizan alto nivel científico, considerando además la experiencia y conocimiento de los participantes de los países latinoamericanos sobre los problemas específicos garantizan el total cumplimiento de los objetivos.

Los resultados científicamente son muy importante a citar:

- 1- Los modelos meteorológicos pueden contribuir con mejorar el conocimiento de los cambios climáticos globales en la banda Tropical, y puede aplicarse también para prever la disponibilidad del agua y la producción agrícola en escala regional.
- 2- El desarrollo de los modelos conceptuales hidrológicos distribuidos pueden aplicarse otras cuencas alejadas o poco caracterizadas, la aplicación de estos modelos es muy amplia
- 3- Los modelos del reservorio son sólo de aplicaciones

particulares; este puede aplicarse con algunas modificaciones a otros sectores como: inundaciones, balance de agua, manejo del recurso del agua, planificación de la cuenca, evaluación del impacto ambiental.

Si la investigación obtiene buenos resultados, será posible que otras instituciones regionales traten de seguir el mismo diseño trazado en este proyecto.

5.- IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

El impacto medioambiental del proyecto es muy positivo, el proyecto puede detener las dudas de algunos países andinos para construir o no nuevas plantas termoeléctricas nuevas para evitar incertidumbre sobre las plantas hidroeléctricas.

De hecho en la década 50- 60 gran parte de los países Andinos, siguiendo la política del desarrollo de las agencias internacionales, escogieron la energía hidroeléctrica para satisfacer el aumento de las demandas eléctricas.

Esta respuesta estratégica a la disponibilidad limitada de los combustibles fósiles, la abundancia del recurso agua y la disponibilidad de condiciones topográficas.

Como consecuencia de esta política durante las últimas décadas varios diques grandes y plantas hidroeléctricas se construyeron.

Actualmente, un alto porcentaje de los diques más grandes en el mundo están en América Latina.

Colombia por ejemplo tiene una capacidad instalada de 8000 MW y más de 35 sistemas interconectados hidroeléctricos, estos sistemas satisfacen cerca del 80% de las demandas de la energía eléctrica.

Hoy, debido al descubrimiento de grandes yacimientos de gas y petróleo, la incertidumbre de las condiciones hidrometeorológicas y las graves consecuencias del fenómeno ENSO, hay una tendencia a dejar la estrategia del uso de la hidroenergía limpia.

6.- INFORMACION DEL NIVEL DE LOS PARTICIPANTES

Agencias Participantes:

- Servicio National de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Contribucion de la agencia local al staff del proyecto:

SENAMHI:

- DR. CARLOS ALBERTO BUSTIOS DÁVILA. Coordinador Nacional del Proyecto.
- Director General del Centro de Investigación y desarrollo -CID del SENAMHI desde 1988.
- Ingeniero Agrónomo con master en Ciencias Agrícolas en Moscow (1974)
- Ph.d en Ciencias Meteorología y Geografía en la Universidad de Moscow (URSS) (1986).
- Director del Centro de Investigación de Cajamarca (Proyecto Convenio Alemania - Perú).
- Director del Proyecto SENAMHI - PROCCONT) (Contro del programa de la contaminación ambiental en la ciudad de Lima)
- Participación en cursos y seminarios como expositor particularmente sobre contaminación atmosférica.

7.- INFORMACION FINANCIERA

7.1 ASISTENCIA TECNICA REQUERIDA

Se han considerado que habrá reuniones técnicas de trabajo para informar sobre los avances del proyecto , en estas reuniones habrá intercambio de información y prueba de lo modelos . A estas Reuniones asistirá el coordinador Nacional del Proyecto y se ha considerado un mínimo de cuatro reuniones de sesione técnicas en HYDROCONTROL.

El SENAMHI considera importante el entrenamiento en centros especializados europeos para una transferencia de tecnología por parte de dichos centros y la experiencia de los participantes latinoamericanos . Por ello seria de gran utilidad que el Senamhi participe en el Instituto Meteorológico Max Plank para poder participar en la preparación y prueba de los modelos de previsión meteorológica.

También se considera la asesoría altamente especializada en modelos físico-matemáticos y análisis de los procesos que requiera la ejecución de los modelos (24 meses).

7.2 INFORMACION FINANCIERA POR TAREAS

1. Empieza el Primero de Enero de 1996
Finaliza el 30 de diciembre de 1997

FUENTE DE FINANCIAMIENTO (en ECUS)

	Cantidad requerida	Contrapartida	
	A la Comision europea Programa DGXII INCO-DCRTD	PERU-SENAMHI	TOTAL
1. Contratos	17000	24000	41000
2. Viajes y subsidios			
2.1. Conferencias	3000		
2.2. Intercambio del Staff	3500	2000	
2.3. Total	6500	2000	8500
3.			
3.1. Servicios externos			
3.2. Manejo de datos centralizados	12500		
3.3. Intercambio de Materiales	3000		
3.4. Publicaciones		1000	
3.5. Insumos	4000	5000	
3.6. Equipos		4000	
3.7. Total	16500	13000	29500
4. Otros		1000	1000
5. Gastos Generales			
6. % comisión por contribución			
7. Totales	40000	40000	80000

8.- PLAN DE EXPLOTACION DE LOS PRODUCTOS

Los países participantes no han definido ningún acuerdo comercial o han pensado aprovecharse de los resultados del proyecto para lucro propio.

Cada modelo (modelo meteorológico, modelo hidrológico distribuido y modelo del manejo de embalses), desarrollado durante el proyecto, constituye un prototipo que pueden ser usados en otras regiones.

Todos los modelos juntos constituyen un prototipo de un sistema informativo para un óptimo manejo multitemporal de un sistema de embalse.

9.- PROYECTOS CONTINUACION, PREVIO Y PROPUESTAS RELACIONADAS.

Ninguno de los copartícipes del presente proyecto, han presentado propuesta similar al programa INCO DC o a cualquier otro programa de la Comunidad.

