

# **I TALLER LATINOAMERICANO PARA LA REDUCCION DE LOS EFECTOS DE LOS DESASTRES NATURALES SOBRE LA INFRAESTRUCTURA DEL SECTOR ENERGIA**

## **EL IMPACTO DE LAS AMENAZAS NATURALES SOBRE LA GENERACION, TRANSMISION Y DISTRIBUCION ELECTRICA DE COSTA RICA**

**Dr. Sergio Mora Castro**  
**SUBGERENCIA DE DESARROLLO SOSTENIBLE, I.C.E., FAX (506) 231 4744**

### **RESUMEN**

*Han ocurrido eventos naturales, algunos de ellos influenciados por la actividad humana y que han sido la causa de severos daños económicos sobre la infraestructura electro-energética de Costa Rica. La sismicidad (vibraciones, licuefacción), el volcanismo, los deslizamientos, la erosión intensa de suelos, los ciclones, vientos intensos, lluvias de elevada intensidad y avalanchas de lodo, han sido los fenómenos más frecuentes y que mayores daños han ocasionado. Desafortunadamente no se cuenta con estadísticas ni recuentos sistemáticos que permitan conocer con precisión los montos exactos de las pérdidas y reparaciones. En este análisis, ha podido concluirse que las pérdidas han alcanzado niveles muy importantes en los últimos 20 años. Estos costos demuestran que es necesario aplicar medidas de mitigación y prevención para disminuirlos y propiciar con ello un desarrollo sostenible.*

### **I. INTRODUCCION**

#### **Metodología de trabajo y limitaciones del estudio**

*Este trabajo es el resultado de una compilación de datos acerca del impacto económico de los desastres naturales sobre las obras y servicios eléctricos bajo el dominio del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).*

*La compilación ha considerado la información documental disponible. Sin embargo, no se cuenta con estadísticas confiables, ni siquiera sistemáticas y son, en algunos casos, incluso inexistentes. Esto ha dificultado la labor y ha restado confiabilidad a los datos presentados, los cuales deberán ser utilizados y considerados con cautela. La ausencia de un interés específico en mantener una estadística confiable y actualizada impide, desde todo punto de vista, el proceso adecuado de planificación, identificación de medidas de protección de las obras y servicios, para hacer que estos sean más rentables.*

*Otro factor que ha complicado la tarea es el hecho de que en el ICE como en otras instituciones nacionales, el conocimiento es prácticamente del dominio de las personas más que de las instituciones. Es clásico recibir como respuesta que desafortunadamente no se conocen los detalles de determinada circunstancia, pues alguna persona que tenía dominio de ellos no se encuentra disponible, ha muerto o no trabaja más ahí. Esto ha hecho que mucha información se pierda y desaparezca de la memoria nacional.*

*Si en realidad se pretende que nuestro país proceda a*

*aplicar y se beneficie de los postulados del Desarrollo Sostenible, será necesario superar todas estas dificultades, para que de alguna manera sea posible identificar los sitios y actividades en donde sea eficiente realizar las medidas de prevención y mitigación que disminuyan las pérdidas por desastres naturales.*

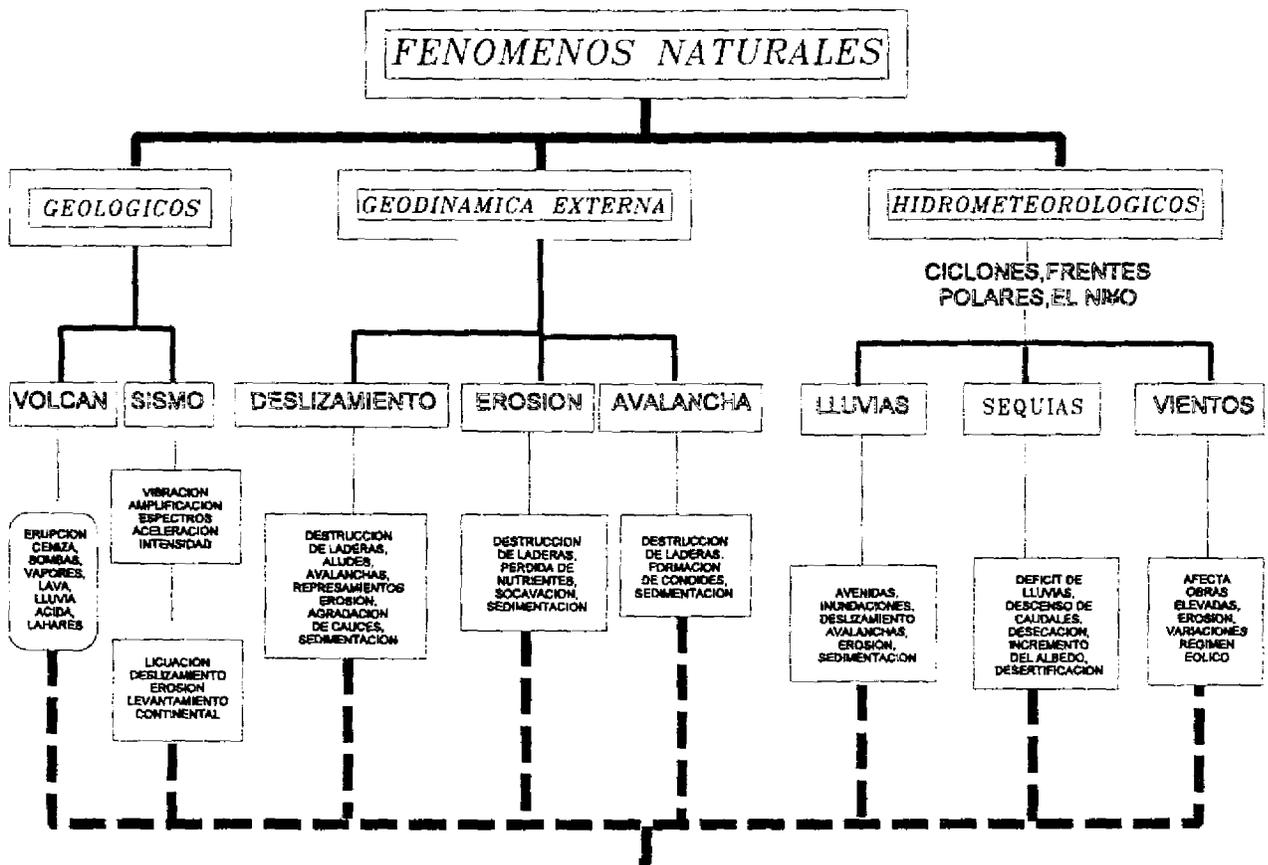
#### **El impacto de los desastres naturales**

*De acuerdo con la información existente, Costa Rica ha perdido en promedio 2.3% de su PIB total anualmente a causa de los efectos de los desastres naturales en los últimos 25 años. Las pérdidas, desde 1988 han sido de alrededor de US\$2000 millones (huracanes Gilbert y Joan en 1988, crisis sísmica de 1990-92, actividad de los volcanes Poás y Rincón de la Vieja, grandes deslizamientos, etc.) (Tabla 1 y Figuras 1 y 2; Mora, 1989, 1994, 1995).*

*El evento más destructivo con que cuenta el registro histórico de Costa Rica es el terremoto de Limón (22/4/91). Por su causa se perdieron cerca de \$300.000.000 en la infraestructura y bienes del sector productivo (sin contar costos indirectos, secundarios, lucro cesante, impacto sobre la balanza de pagos). El daño sobre el ambiente ha sido también cuantioso, aunque no ha sido posible cifrarlo adecuadamente en términos económicos (deslizamientos, pérdida de 150km<sup>2</sup> de bosque y su biodiversidad, levantamiento continental de 1.9m en la costa, emersión de arrecifes coralinos).*

#### **Impacto sobre obras y servicios que presta el ICE**

*Los bienes del ICE y los servicios que presta al público se*



ANALISIS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO  
DE LAS OBRAS, BIENES, SERVICIOS ELECTRICOS

Figura 2. Los diferentes fenómenos naturales destructivos.

**TABLA 2**  
**Costos directos de los daños generados por el terremoto de Telire-Limón, Costa Rica**  
**(Mw = 7.6) (millones de dólares US)**

ITEM	PERDIDAS	%Rel.
ARTESANIA, PEQUEÑA-MEDIANA INDUSTRIA, MINERIA	2,7	0,95
INDUSTRIA PESADA	2,5	0,88
ELECTRICIDAD Y TELECOMUNICACIONES	1,5	0,53
MUELLES E INFRAESTRUCTURA IMPORTAC/EXPORTAC	17,5	6,20
OTRAS INFRAESTRUCTURAS PORTUARIAS	8,0	2,81
REFINERIA Y OLEODUCTOS	8,0	2,81
ACUEDUCTOS (POTABLE, PLUVIAL, AGUAS NEGRAS)	25,0	8,77
FERROCARRILES, PUENTES OTROS FERROVIARIOS	10,0	3,51
CARRETERAS, DRENAJES VIALES	15,0	5,26
PUENTES VIALES	6,0	2,11
TURISMO	2,0	0,70
AGRICULTURA (EXCLUYE AL BANANO)	29,0	10,18
BANANO (PLANTACIONES, TRANSPORTE, EXPORTACION)	30,0	10,53
CANALES DE CABOTAJE	10,0	3,51
AEROPUERTOS	1,0	0,35
INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA	2,0	0,70
INFRAESTRUCTURA DE SALUD	13,0	4,56
VIVIENDA	71,3	25,02
COMERCIO (INFRAESTRUCTURA, MERCADERIA, EQUIPO)	27,0	9,40
COSTO ESTIMADO, OPERACIONES DE EMERGENCIA	5,0	1,75
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>285,0</b>	<b>100,00</b>
-----		
COSTO APROXIMADO MADERAS COMERCIALIZABLES		
PERDIDAS POR DESLIZAMIENTOS (20.000 HaX20m <sup>3</sup> )	200,0	
-----		
COSTO APROXIMADO (VALOR COMERCIAL), SUELOS		
PERDIDOS P/EROSION-DESLIZAMIENTOS (20.000Ha)	480,0	
-----		
<b>TOTAL</b>	<b>965,0</b>	

*NO INCLUIDOS: Costos indirectos-secundarios, pérdidas financieras-macroeconómicas, fuga de divisas fuertes, incremento de la deuda externa impacto socio-económico y ambiental, efectos a mediano y largo plazo del levantamiento continental sobre el ecosistema marino y pesca y muchos otros. FUENTES: MORA, 1992, 1995 Y otras fuentes no publicadas.*

han visto también severamente dañados. Tal es el caso de los problemas provocados por un deslizamiento en la ladera trasera de la Central Hidroeléctrica Ventanas-Garita y que ha requerido la construcción de una impresionante obra de contención, o también la reparación de las plantas, obras de transmisión y centrales telefónicas afectadas por sismos (Barranca, Puntarenas, Puriscal, Alajuela, San José, Cartago, Limón). A esto se puede agregar la sedimentación de embalses, acelerada por la erosión y deslizamientos en los ríos Sangregado y Chiquito (Arenal), Naranjo (Cachí), Porras, Villegas y Badilla (Tapantí) y daños constantes en líneas de transmisión en casi todo el país (Cachí-El Este, Río Macho-San Isidro, Cachí-Moín; Tablas 1 y 2; Figuras 3 y 4).

### Objetivos del análisis

El objetivo de este análisis es mostrar la importancia de que países como Costa Rica conozcan con precisión las pérdidas asociadas con los desastres naturales. Durante la campaña de recolección de información ha sido constatada la imprecisión y a veces inexistencia de los datos correspondientes. Esto impide orientar las decisiones, prioridades y acciones para fortalecer la confiabilidad del sistema eléctrico, mantener un servicio seguro y contribuir con la disminución de las pérdidas socio-económicas al enfrentar situaciones de emergencia. Este artículo pretende motivar los esfuerzos de mitigación para disminuir las pérdidas de infraestructura, lucro cesante, gasto de divisas en la sustitución de bienes y combustibles comprados en el exterior, paralización de las actividades productivas, el efecto negativo sobre la calidad de vida y el impacto sobre el Producto Interno Bruto.

## II. PRINCIPALES EVENTOS DESTRUCTIVOS

A continuación, se presenta una breve reseña de los eventos naturales más importantes que han afectado las obras del ICE.

### - PLANTA HIDROELECTRICA CACHI

#### Evento de El Humo-Pejibaye

La planta de Cachí aprovecha un caudal promedio de 52,5m<sup>3</sup>/s del río Reventazón y su capacidad instalada es de 110MW, para una generación promedio anual de alrededor de 570GWh. A causa de una lluvia de intensidad extraordinaria (150mm/2,5h), ocurrieron grandes deslizamientos sobre las cuencas altas de los ríos Naranjo y Cachí. Por sus cauces transitaban avalanchas de lodo y piedras que llegaron en cantidad al embalse, contribuyendo a disminuir su capacidad útil de almacenamiento y obstruyendo la estructura de toma de aguas. La consecuencia fue el daño de las rejas de entrada debido a la presión del agua y detritos por un lado, contra el túnel vacío por el otro. Fue necesario

vaciar el embalse y las reparaciones tardaron alrededor de 15 días completos, lo que significó una pérdida de alrededor de 35GW (en promedio 2,3GWh/día), lo que a razón de US\$0,05/KWh representó una pérdida total aproximada de US\$1.750.000.

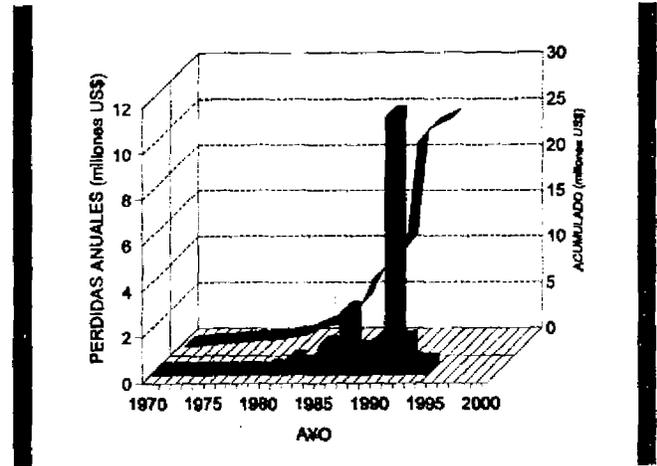


Figura 3. Evolución de las pérdidas económicas (desastres naturales) desde 1970

A esto debe agregarse el valor del agua que se perdió al abrir la descarga de fondo para vaciar el embalse y el sobre-costado de la energía eléctrica generada por medio de las plantas térmicas (US\$920.000).

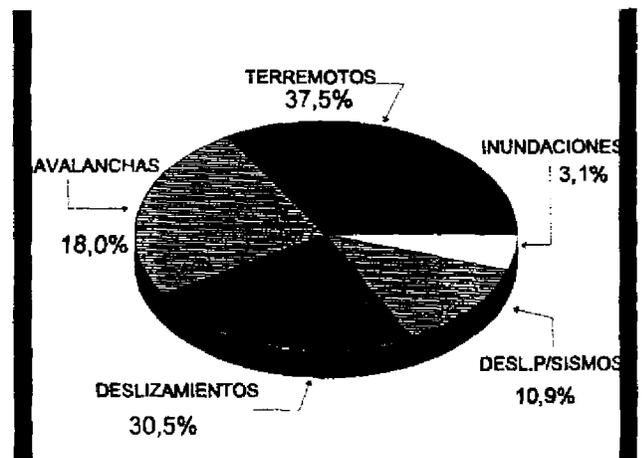


Figura 4. Proporción de las pérdidas según los diferentes fenómenos naturales destructivos.

También hubo daños cuantiosos en los sistemas de distribución secundaria y terciaria de El Humo, Humito, Pejibaye, Cachí y Taus, los cuales pueden estimarse en alrededor de US\$50.000) (Mora, Valdés, Ramírez,

1989). El daño total fue entonces de alrededor de US\$2.720.000.

### **Evento del 24 de julio de 1992**

En la fecha indicada, ocurrió una avenida de sedimentos provocada por un evento de lluvia de elevada intensidad. En este caso, los costos de las pérdidas alcanzaron cifras de US\$475.000 (costos directos), US\$118.750 (costo institucional), US\$336.250 (lucro cesante), para un total de US\$930.000.

### **- DESLIZAMIENTOS EN LA LINEA RIO MACHO-SAN ISIDRO, SISMO 1983**

A causa de la fuerte intensidad del sismo de La División (3/7/83;  $M_s = 6,1$ ,  $IMM_{max} = IX$ ), ocurrieron numerosos deslizamientos en el flanco suroeste de la Cordillera de Talamanca, hacia el extremo norte del cantón de Pérez Zeledón. Esto ocasionó serios daños en la línea Río Macho - San Isidro, tanto sobre las torres, postes y marcos de la línea de 34kva como la interconexión con Panamá (230 kva) y la subestación de San Isidro (Mora y Rivas, 1983; Mora, 1989). Se ha estimado que el costo de las reparaciones de la línea antigua, de los refuerzos en los sitios de la línea nueva, y en la subestación reductora fue de alrededor de US\$195.000.

### **- EL SISMO DE COBANO, 1990**

El sismo de Cóbano ocurrió el 10 de marzo de 1990 y tuvo una magnitud  $M_s = 6,5$ . La intensidad registrada en la Central de Barranca fue de VIII+, lo que generó daños menores en los tanques de almacenamiento de combustibles, pérdida temporal de balance en las turbinas, daños menores en los sistemas de distribución local y la suspensión de su operación por alrededor de 3 horas. Las unidades fueron puestas en funcionamiento progresivamente en forma rápida, gracias a la eficiencia de los operadores. Se estima que las pérdidas en costos directos fueron de casi US\$353.000, mientras que los costos institucionales ascendieron a US\$88.150. El lucro cesante fue de US\$247.950 y el total fue de US\$689.100 (Flores et al, 1995).

### **- ENJAMBRE SISMICO DE PURISCAL**

Entre mayo/90 y junio/91, fue registrado un enjambre sísmico en la región de Puriscal. El total de eventos sísmicos ( $M_s > 1,5$ ) fue de cerca de 100.000. Durante el clímax del enjambre, la población llegó a sentir en promedio un sismo cada 20 minutos! Los eventos de mayor magnitud e intensidad, fueron el 4/6 ( $M_s = 5,4$ ) y 21/12/90 ( $M_s = 5,9$ ). Esto causó la salida de operación de la plantas de Ventanas-Garita, Electriona-Belén y Nuestro Amo durante alrededor de 45 minutos. Además, ocurrieron daños en los sistemas de distribución locales, subestación, postes y torres. Se

estima que los daños totales alcanzaron un costo de cerca de US\$95.000.

### **- LA CRISIS SISMICA DE 1990-91 Y LA PLANTA VENTANAS-GARITA**

La secuencia de sismos, algunos de ellos de magnitudes e intensidades importantes (Cóbano, Puriscal y Piedras Negras en 1990 y Limón en 1991) ocasionaron algunos daños de importancia a varios componentes de la Planta Hidroeléctrica Ventanas-Garita. En forma resumida se puede mencionar lo siguiente:

i. Daños menores a la presa de San Miguel, fracturas en el enrocamiento de la cresta, descenso del nivel de operación del embalse y pérdida temporal de su capacidad de regulación horaria. El costo total de las reparaciones ascendió a unos US\$35.000.

ii. Deformación leve del alineamiento de la tubería en trinchera en el sector de Tamarindo. El costo total de las reparaciones fue de cerca de US\$55.000.

iii. Deslizamiento en el camino de acceso a la casa de máquinas. El costo total de su rehabilitación ascendió a US\$75.000.

iv. Movimientos leves en el talud de margen izquierda de la presa del río Virilla. Las reparaciones pueden haber costado aproximadamente US\$10.000.

v. Deslizamiento en el talud trasero (inclinación y desprendimiento de columnas de ignimbrita) de la casa de máquinas; hizo necesaria una gigantesca obra de contención para proteger la central, el área del embalse de regulación, el tanque de oscilación de La Garita y las dos tuberías de presión. Costo cercano a 350 millones de colones (US\$2.950.000 lo cual incluye la labor de investigación, ingeniería, ejecución de la obra, su observación y mantenimiento).

### **- EL SISMO DE LIMON, 1991.**

El sismo de Limón (21 de abril de 1991,  $M_w = 7,6$ ) generó daños importantes en el sistema eléctrico nacional. Estos daños han sido estimados en alrededor de US\$1.000.000 (costos directos, Mora, 1994, 1995) y US\$7.700.000 incluyendo costos de operación, secundarios, indirectos y lucro cesante (Flores et al, 1995). Los daños ocurrieron en la línea de transmisión Siquirres-Moín, líneas de distribución secundarias y terciarias y daños menores en la planta de Moín.

### **- HURACAN GILBERT, SET/1988**

Durante el tránsito de este ciclón por el Caribe se desarrollaron importantes efectos climáticos secundarios en la vertiente pacífica y otras regiones de Costa Rica. Es así como ocurrieron importantes

avenidas en algunos ríos aprovechados por plantas hidroeléctricas (Virilla, Reventazón). Además, ocurrieron numerosos deslizamientos y procesos erosivos intensos que afectaron los embalses y perjudicaron su operación, acelerando la necesidad de mantenimiento y reemplazo de las unidades más afectadas y vulnerables. También se presentaron problemas de inestabilidad de laderas que afectaron algunas líneas de transmisión de alta tensión (Barranca-Arenal, San Isidro-Río Claro-Canoas, Cachí-Siquirres). La calidad de los datos, para evaluar las consecuencias de este evento, es muy deficiente y fue opacada por el problema subsiguiente del huracán Joan. No obstante, se estima que los costos totales de las reparaciones pueden haber ascendido a la suma de US\$125.000.

#### **- HURACAN JOAN, OCT/1988**

Durante el desarrollo de los efectos secundarios provocados por el ciclón durante su tránsito por las costas del sur del Caribe y su travesía sobre el territorio nicaragüense, para continuar su trayectoria por el océano Pacífico, ocurrieron fuertes lluvias y avenidas importantes en algunos de los ríos con aprovechamientos hidroeléctricos. Las cuencas de estos y otros ríos fueron afectadas por numerosos deslizamientos y procesos de erosión intensa. Esta situación permitió la aceleración de los procesos de sedimentación de embalses e incluso provocó la salida temporal de operación de algunas unidades generadoras (Ventanas-Garita y otras plantas menores del río Virilla, Cachí y Río Macho). Fueron también afectadas algunas líneas de transmisión de alta tensión por deslizamientos (Barranca-Arenal, Río Macho-San Isidro-Río Claro-Canoas, Cachí-La Caja, Río Macho-El Este, Cachí-Siquirres) y numerosas redes secundarias y terciarias de distribución.

Por otra parte, varios ríos con elevado potencial de aprovechamiento hidroeléctrico, algunos de ellos en proceso de estudio y evaluación, tuvieron problemas severos de deslizamientos, erosión intensa y sedimentación. El deterioro ambiental y de los elementos reguladores naturales del recurso hídrico fue evidente. Este fue el caso de los ríos Grande de Térraba, Savegre, Corredores, Naranjo, Pirrís-Parrita, Reventazón, Pacuare y otros. En algunos de ellos, se registraron avenidas con caudales sin precedentes (Departamento de Estudios Básicos, 1989).

La estimación de los costos de los daños ha sido muy difícil de realizar, a causa de la deficiencia o inexistencia de estadísticas adecuadas. Tan solo ha sido posible realizar una estimación grosera de los costos totales, que ascienden a aproximadamente US \$450.000.

#### **- PLANTA DE NAGATAC**

Durante la fase de reconstrucción de la planta, en 1990, ocurrió un importante deslizamiento que afectó el trazado del canal de conducción. Esta situación obligó a la realización de una obra de rectificación y refuerzo cuyo costo se estima en US\$15.000.

Posteriormente, el 5 de octubre de 1991, luego de un período de fuertes lluvias en la cuenca del río Barranca, ocurrió un deslizamiento que afectó la tubería forzada. De acuerdo con un análisis realizado por Flores et al (1995), los costos de reparación y salida de operación ocasionaron pérdidas totales (costos directos, institucionales, lucro cesante, efecto en las divisas) por un monto de aproximadamente US \$927.700.

#### **- PLANTA RIO MACHO**

El problema de mantenimiento de esta planta es casi constante. Las avalanchas acarreadas por el río Badilla han prácticamente colmatado el pequeño embalse de El Destierro-Tapantí. De la misma manera, en tres ocasiones (1987, 1990, 1993) se ha producido el sepultamiento de las tomas de Porras y Villegas, lo que en una ocasión motivó su reconstrucción total. Cuando los sedimentos logran introducirse por el túnel de conducción, se acelera la sedimentación del embalse El Llano, lo que obliga a dragar constantemente y adecuar obras especiales de desalojo de sedimentos (túnel). Esto último ha sido requerido, dado que el cauce de la quebrada Jucó presenta problemas de inestabilidad de laderas y pone en peligro las poblaciones del Valle de Orosi. Debe agregarse que el camino de acceso, en particular al área de El Destierro, sufre de constantes deslizamientos, que hacen necesaria su reparación y mantenimiento.

Los costos de reparación, reconstrucción, salidas de operación, limpieza y mantenimiento, a causa de los fenómenos naturales destructivos, se han estimado en aproximadamente:

1970-1980: US\$ 850.000

1980-1990: US\$2.095.000

1990-1994: US\$1.995.000

### **III. PROBLEMAS LATENTES Y PERMANENTES**

#### **- EROSION, DESLIZAMIENTOS Y SEDIMENTACION, EMBALSE DE CACHI**

En la actualidad y desde hace varios años, el embalse de Cachí atraviesa por una fase de sedimentación acelerada. En gran parte esta sedimentación es producto de la actividad de algunos deslizamientos (Río Oro, Ujarrás) y de procesos de erosión intensa aledaños. No obstante, la mayor parte se produce a causa de actividades económicas (explotación de tajos, canteras, beneficios de café, agricultura), del proceso acelerado y desplanificado del urbanismo y de la conducta y actitud

de la población (disposición de la basura). Esta situación se ve agravada por la ausencia de autoridad de los organismos que deberían ejercer el control de las circunstancias.

Es muy difícil separar las proporciones con que las diferentes causas generan los daños y el impulso de la sedimentación. Aparte de ello, la traducción de esta información en la estimación de costos sobre el Sistema Eléctrico Nacional es una tarea aun más complicada y solamente se ha podido realizar una estimación preliminar.

La capacidad útil del embalse de Cachí es de 54.000m<sup>3</sup>. Alrededor del 13% de esta capacidad ha sido perdida por sedimentación (Depto. Estudios Básicos, ICE, 1989). Uno de los mayores aportes de sedimentos (3.000ton/año) proviene del río Aguacaliente y su afluente el Reventado. En estas cuencas existen tajos para extraer materiales para la construcción, las canteras de la Fábrica Nacional de Cemento y otras fuentes importantes.

Un problema que no puede dejar de considerarse es la posibilidad de un lahar (avalancha de lodo) proveniente del volcán Irazú por el río Reventado u otro (Páez, Toyogres, Taras). Tomando como experiencia el evento de Taras de 1963, cuando la presa de Cachí no estaba aun construida, se puede estimar que la carga total alcanzó cerca de 50.000.000m<sup>3</sup>, de los cuales no menos del 30% (i.e. 15 millones) habrán alcanzado el área de Cachí. En caso de repetirse un fenómeno de esta naturaleza, los daños que se podrían producir serían: la suspensión temporal de la operación de la planta, apertura de las descargas de fondo para evitar la acumulación de sedimentos y limpieza con maquinaria del embalse. Las pérdidas podrían superar fácilmente US\$5.000.000 (Mora, 1993). Primeramente, se produciría la salida de operación de la planta por 10-30 días según la cantidad de sedimentos, lo que en promedio significa una pérdida de 25-70Gw de generación. En invierno se perderían cerca de 2,3Gw /h/día, lo que a razón de US \$0,05/kwh daría un total de US \$115.000 /día. La salida de operación por 30 días ocasionaría una pérdida de US\$3.500.000 aproximadamente.

Por otra parte, la sustitución energética sería realizada operando plantas térmicas, con una pérdida directa de divisas y ambiente para el país. Se estima que para generar 1Gw/h se requiere de cerca de 260.000 litros de diesel, o sea 600.000 l/día para sustituir la producción de Cachí. A razón de \$0,35/l se consumirían US \$210.000/día, o sea US \$6.300.000/30días. Esto quiere decir que para el consumidor, la diferencia de costos, que ciertamente será él quien la cubra (e.g. factor térmico), sería de \$2.800.000.

Una alternativa sería la importación de energía, pero

esta posibilidad es más difícil de evaluar, dadas las fluctuaciones del precio del KW/h en el mercado centroamericano y los problemas propios de cada país en cuanto a la generación eléctrica. Un costo que debe agregarse es la limpieza del embalse, la cual se ha calculado con base a 40.000 horas de tractor tipo D6 a US\$20/h, más US\$150.000 adicionales de gastos indirectos, lo cual suma US \$950.000.

En resumen, los costos directos que podrían alcanzarse al salir de operación la planta aparecen en la Tabla 3, categorizados según tres escenarios. Nótese que no han sido incluidos los costos de los daños que podrían ocurrir a la estructura de la presa, túneles y turbinas (Orellana y Avalos, 1988).

#### **- LA VULNERABILIDAD DEL EMBALSE DE ARENAL.**

El embalse de Arenal se encuentra expuesto a los fenómenos naturales destructivos, algunos de los cuales se combinan con la actividad humana.

Existen varios deslizamientos activos y áreas de erosión intensa de suelos en las márgenes del embalse y en las cuencas de los ríos afluentes; por ejemplo los deslizamientos de la carretera entre Nuevo Arenal y Sangregado, río Chiquito, Chiripa y la quebrada Sangregado (algunos son remanentes de los causados por el sismo de 1973). Se puede mencionar también la fuerte erosión que produce el oleaje del embalse con los vientos intensos. La ribera occidental ha sido muy afectada, por ejemplo durante el huracán Joan, cuando fue necesario realizar reparaciones importantes en la carretera.

Se han depositado cantidades importantes de sedimentos en las desembocaduras de los ríos Chiquito y Sangregado. En el segundo de ellos se ha formado un delta que alcanza las compuertas de la descarga de fondo (túnel de desvío). No existe una evaluación sobre la magnitud de este proceso: volumen, evolución, pérdida de capacidad útil y el impacto económico que esto significa, lo cual no debería tardar en realizarse.

Es importante recordar que el embalse, represa y demás obras del Complejo Arenal-Corobici-Sandillal pueden ser afectadas en mayor o menor grado por una erupción violenta del volcán Arenal (flujo de piroclastos, gran caída de cenizas, oleadas en el embalse). Además, el sismo ocurrido el 14/4/73 (Ms = 6.5) generó daños importantes que podrían repetirse (deslizamientos, licuefacción).

La planta de Arenal ha sufrido otros problemas importantes durante su operación; por ejemplo los movimientos manifestados en la estructura de toma y los deslizamientos en el canal de limpieza de gamalote.

En este último caso, los costos (1992-94) de

movimientos de tierra, limpieza y refuerzos, ascienden a alrededor de US\$95.000.

Es imposible estimar los costos, aun aproximados, de las sequías que han afectado la operación y regulación del Complejo Arenal-Corobicí-Sandillal, sobre todo cuando ha sido necesario controlar el nivel del embalse economizando agua y sustituyendo su generación por medio de plantas térmicas.

#### **- ARENAL-SANTA ROSA**

Durante la etapa constructiva de la presa Santa Rosa (1982-84) ocurrió un deslizamiento importante en la margen derecha. Este debió ser tratado por medio de un movimiento de tierra, un muro de retención (pernos de anclaje pasivos, drenajes, concreto lanzado y malla electrosoldada). Se estima que su costo alcanzó cerca de US\$600.000. El muro es auscultado periódicamente para verificar su estabilidad y longevidad.

#### **- SANDILLAL**

Durante la fase constructiva de la presa de Sandillal (1989), ocurrió un importante deslizamiento en la margen izquierda del canal de aproximación del vertedor. Este problema debió tratarse por medio de un importante terraceo, colocación de drenajes, refuerzo con geotextiles, muros de gabiones y otros dispositivos. Además, dada su posición estratégica, la ladera fue instrumentada para su observación (inclinómetros, piezómetros, geodesia). El costo de la solución, incluyendo investigación e ingeniería, asciende a \$890.000.

#### **- AMENAZAS EN LAS LINEAS DE TRANSMISION**

Los problemas de mantenimiento a causa del deterioro de las líneas de transmisión por la reactivación de deslizamientos son constantes. Casi todas las líneas de transmisión de alta tensión que atraviesan regiones montañosas tienen problemas derivados de la inestabilidad de laderas. Lo mismo ocurre con gran cantidad de líneas de distribución secundarias y terciarias. Se pueden mencionar a título de ejemplo las líneas: Río Macho-La Caja, Cachí-El Este (San Blás), Cachí-Siquirres (Izarco-Chitaría-Guayacán), Barranca-Arenal, Barranca-Anillo Central, Río Macho-San Isidro (nueva y vieja), San Isidro-Río Claro-Canoas (Mora, 1989, 1993, Perazzo et al, 1994). Estas líneas se ven afectadas cada vez que se presentan lluvias y sismos intensos.

#### **Las líneas Cachí-El Este y Río Macho-La Caja**

Estas dos líneas de alta tensión cruzan el cauce del río Reventado a la altura del deslizamiento de San Blás. Una reactivación violenta podría generar daños parciales o totales en las torres. Estas son de circuito doble, con un peso de 5ton y constituyen parte de las líneas Cachí-El Este (#6 y 7; 15m de altura) y Río Macho-La Caja (#43;

15m y 41N; 24m).

En abril de 1974, fue necesario eliminar la torre #41, pues su fundación se había desplazado 4,47m horizontalmente desde su posición original a causa del movimiento del deslizamiento de San Blás. Ocho meses después, el mismo punto se había corrido 16,30m adicionales y hoy en día los desplazamientos totales alcanzan más de 216m. En 1974 fue necesario colocar una torre de mayor altura en el sitio de la torre #41N, para que el bano de los cables no hiciera contacto con el suelo. Sin embargo, un deslizamiento lateral asociado al de San Blás, ha puesto en peligro inminente la torre, por lo que se han considerado varias opciones de refuerzo y reubicación. Las torres #6 y 7 también han dado indicios de desestabilización, con lo que esta medida se justificará también para ellas en el futuro (Martínez y Solera, 1988).

Desde el punto de vista de los daños directos, la pérdida de una torre representa un costo de cerca de \$16.000, incluyendo los cables. De perderse las torres 41N y 43, por ejemplo, la pérdida sería de \$30.000 y si los daños fueran totales en las torres 6, 7, 41N y 43, la pérdida incluiría:

-Torres :	\$42.000
-Cables :	\$18.000
-Instalación:	\$ 9.000
<b>TOTAL :</b>	<b>\$59.000</b>

Un traslado de las líneas, preventivo o por daño, haría incurrir al ICE en una erogación aproximada de \$850.000 para la línea Cachí-El Este (5km al norte) y \$600.000 para Río Macho-La Caja (3km al norte). En cuanto a los efectos indirectos, puede preverse que la ruptura de una de las líneas recargaría el circuito hasta su límite máximo (100Mwh). Con ello se rompería el anillo Cachí-Río Macho-Colima-El Este, lo que produciría una suspensión parcial del servicio metropolitano de al menos 15 horas mientras se instala uno nuevo. Esta situación traería por consecuencia la pérdida de percepción monetaria por parte del ICE y compañías revendedoras, paralización de actividades que requieren del servicio, pérdidas en la industria, artículos comestibles percederos en los hogares por falta de refrigeración, etc.

La necesidad de suplir este faltante energético requeriría recurrir a las plantas térmicas o importar desde países vecinos, lo que generaría una fuga de divisas. Además, sería necesario generar a partir de las reservas del embalse de Arenal y esto significa reducir su almacenamiento y regulación.

**Tabla 3. Escenario de las posibles pérdidas por daños en la Planta Hidroeléctrica de Cachi (en US\$) a causa de una avalancha lahárica que descienda del volcán Irazú.**

TIPO DE DAÑO	EVENTO PEQUEÑO (20%)	EVENTO MEDIANO (50%)	EVENTO IMPORTANTE (100%)
GENERACION	480.000	1.200.000	2.400.000
LIMPIEZA DEL EMBALSE	190.000	475.000	950.000
<b>TOTALES</b>	<b>670.000</b>	<b>1.675.000</b>	<b>4.350.000</b>

#### **IV. PROBLEMAS DURANTE LA CONSTRUCCION DE OBRAS HIDROELECTRICAS**

##### **- VENTANAS-GARITA**

Durante la construcción de la Planta Ventanas-Garita se presentaron varios problemas de inestabilidad de laderas asociados con las excavación y construcción de las obras principales. A continuación se presenta una breve reseña de los más relevantes:

##### **a) Deslizamiento en la margen izquierda, presa Virilla:**

Una vez construido un muro de retención de concreto lanzado y luego de una fuerte lluvia (febrero de 1985), ocurrió un deslizamiento de 40.000m<sup>3</sup>. Fue necesario rediseñar el muro de contención luego de múltiples estudios (perforaciones, geología-geotecnia, geofísica, pozos exploratorios, inclinómetros, piezómetros, galería exploratoria, cálculos de estabilidad). Este muro debió ser reforzado con terraceos, anclajes pasivos, refuerzos estructurales, drenajes superficiales y subterráneos y medidas de auscultación. Su costo total estimado asciende a US \$1.020.000. No se ha tomado en cuenta la interferencia que esto posiblemente causó al contratista japonés para la construcción de la presa (KAJIMA) y que suscitó millonarios reclamos.

##### **b) Deslizamiento en la Toma de Ciruelas:**

Luego de una fuerte lluvia (Set/86) ocurrió un deslizamiento de unos 10.000m<sup>3</sup> entre el camino de acceso y la obra de toma. La limpieza y la labor de estabilización tuvieron un costo de cerca de US\$19.000.

##### **c) Deslizamiento de Tamarindo:**

El reacomodo de los escombros del túnel, así como la excavación de la trinchera a partir de la Boca-Túnel 2B ocasionó la reactivación de un deslizamiento pre-

existente. A causa de la importancia de esta parte de la obra, fue necesario realizar una compleja estructura de contención. Toda el área fue estabilizada con terraceos, impermeabilización, drenajes superficiales, pozos verticales, trincheras y galerías de drenaje.

El costo total (ingeniería, geología-geotecnia, geofísica, perforaciones, hidrogeología, obras de estabilización, mantenimiento, auscultación) de esta compleja estructura fue de cerca de US \$750.000. El sistema ha mostrado su eficiencia pues no obstante las intensas lluvias y eventos sísmicos, no se han registrado desplazamientos.

##### **d) Tubería de baja y alta presión:**

En este tramo ocurrieron varios deslizamientos menores durante la excavación de la trinchera. Aparte de los movimientos de tierra, fue necesario realizar varias obras de contención (muros, drenajes, terraceos) cuyos costos alcanzaron cerca de US\$28.000.

##### **- PLANTA TORO II**

El deslizamiento ocurrido el 13/7/92 en el río Toro ha proporcionado una valiosa experiencia que permitirá una mejor planificación de las futuras obras hidroeléctricas en regiones montañosas. Es fundamental proteger las obras de casa de máquinas, vulnerables a los lahares producto de la actividad volcánica o corrientes de lodo causados por deslizamientos.

El deslizamiento ocurrió por el debilitamiento paulatino de una masa de lavas fracturadas, depositadas sobre una paleogeografía antigua y cuyo contacto inferior es de baja resistencia mecánica. El fracturamiento natural, acrecentado por la reciente actividad sísmica y las lluvias fuertes precedentes favorecieron la infiltración y generaron presiones hidráulicas fisurales. El volumen del deslizamiento fue de 3 millones de m<sup>3</sup>.

El 70% de los materiales de la represa efímera formada por el deslizamiento eran bloques de lavas y brechas con diámetros desde varias decenas de centímetros hasta unos veinte metros. El 30% de los materiales restantes eran suelos y vegetación.

Las obras del Proyecto que serían afectadas por el rompimiento de la presa natural eran: el puente de acceso, la casa de máquinas y la obra de restitución. Con respecto a la Casa de Máquinas (en pozo), afortunadamente se había previsto su ubicación a una cota suficientemente segura para una eventualidad como esta. Además, afortunadamente la ruptura de la presa natural fue progresiva y no puso en peligro las obras del proyecto. Predominó un proceso de tubificación que generó la socavación interna y erosión de su ladera de aguas abajo. Entre el 13/7/1922 y el 20/7/192 fue removido un 70% del material.

Este deslizamiento generó una serie de gastos relacionados con el seguimiento de la situación, el análisis de las posibilidades de expansión de la masa inestable, una profusa investigación (perforaciones, geofísica, topografía, hidrología), análisis ingenieril, algunas obras menores de protección, la pérdida de dos puentes peatonales colgantes y la remoción constante de los materiales del cauce del río en los alrededores de la restitución. El costo total estimado para estas pérdidas es de alrededor de US\$195.000.

En el talud superior entre la tubería de presión y la Casa de Máquinas no se presentan condiciones iguales a las de la ladera en donde ocurrió el deslizamiento. En este talud aparecen varias coladas de lava, la inferior se encuentra intensamente fracturada y es la que presenta problemas de estabilidad. Los bloques que se producen por volcamiento podrían eventualmente ocasionar daños a la tubería forzada y Casa de Máquinas, por lo que ha sido necesario concebir un sistema de protección. Hacia aguas abajo, se presenta una potente colada de lava que confina las lavas inferiores. Por su baja fracturación, la ausencia de planos de discontinuidad predominantes y agua, esta última muestra estabilidad y homogeneidad.

#### **IV. PROBLEMAS EN PROYECTOS FUTUROS**

Algunas obras energéticas en proceso de estudio han sido identificadas como vulnerables a las amenazas naturales. Los estudios realizados han permitido identificar los fenómenos más importantes y con ello se ha logrado adaptar inicialmente estas obras a las condiciones que impone la naturaleza. A continuación se presenta, de manera resumida la situación en algunos de esos proyectos.

##### **- PROYECTO ANGOSTURA**

En esta región, los estudios han mostrado la existencia de varias fuentes sísmicas activas, confirmadas por la

actividad sísmica registrada desde 1980, por ejemplo el enjambre de Pejibaye de 1993. El proyecto cuenta con un análisis de riesgo y con parámetros de diseño realistas.

En varias ocasiones en el siglo XX se han registrado lluvias muy intensas. Esto ha generado grandes avenidas en el río Reventazón, lo cual ha sido tomado en cuenta para la estructuración del vertedor de excedencias. Además, en la región se han identificado varios deslizamientos causados o acelerados por la actividad pluviométrica y sísmica y las características topográficas y litológicas. Este es el caso de Piedras de Fuego e Izarco-Pavones, que se encuentran en los alrededores del sitio de casa de máquinas y Pascua, Chitaría, Guayacán y quebrada Leona (La Suiza) (Mora, 1989; Mora et al, 1989; Perazzo, et al, 1994).

Se ha observado también la existencia de varios conoides de deyección en la confluencia de los ríos Guayabo y Lajas con el Reventazón. Estas formas están asociadas con la inestabilidad de laderas, actividad del volcán Turrialba, sismicidad, lluvias de elevada intensidad y avalanchas de lodo.

##### **- PROYECTO GUAYABO**

Se encuentra dentro de un contexto geológico-geotécnico y climático semejante al de Angostura, por lo que sus problemas de amenazas naturales son parecidos y extrapolables.

##### **- PROYECTO BORUCA**

Este proyecto se encuentra en etapa de factibilidad avanzada y si bien su esquema definitivo y opciones no han sido completamente definidas, puede considerarse como el de mayor envergadura en Costa Rica y Centroamérica (1750 Mw).

Dadas sus dimensiones, importancia, ubicación, situación ambiental y geológica, el Proyecto Boruca es vulnerable a los fenómenos naturales destructivos, por lo que su concepción deberá considerar elementos para protegerlo y garantizar su rentabilidad y longevidad.

Ya se han realizado estudios preliminares sobre la sismicidad y sus efectos secundarios, lluvias de elevada intensidad, sequías, influencia de los ciclones, avenidas, deslizamientos y erosión de suelos (Mora, 1979a, b; Mora et al, 1994). No obstante, deberán actualizarse y detallarse los parámetros de diseño en el momento de la definición de su viabilidad técnico-económica.

##### **- PLANTAS GEOTÉRMICAS EN OPERACION Y ESTUDIO**

Los volcanes Miravalles, Rincón de la Vieja y Tenorio poseen potenciales geotérmicos aprovechables, aunque condicionados a la actividad volcánica, por lo que existe una vulnerabilidad implícita. Hasta donde ha sido posible y considerando lo que el estado del conocimiento y

tecnología permiten, el ICE ha evaluado las amenazas correspondientes. Además, mantiene la vigilancia y auscultación para detectar cualquier evolución.

#### **- REACTIVACIÓN DEL VOLCAN IRAZU**

Las recientes manifestaciones y evidencias de una reactivación del volcán Irazú, ha resurgido la necesidad de considerar la vulnerabilidad de los elementos asociados directa o indirectamente con la generación, transmisión y distribución de la electricidad. Ya ha sido comentada anteriormente la situación de las líneas de transmisión (Río Macho-El Este y Cachi-La Caja) así como de la Planta Hidroeléctrica de Cachí.

Debe considerarse también la situación de la distribución eléctrica a la población y sistemas de telecomunicaciones, radio-difusión, televisión comercial pública y privada, cuyos elementos (antenas, repetidoras) se encuentran en la cima del volcán. En caso de una reactivación del volcán, es probable que las cenizas deterioren o destruyan algunos de estos sistemas, además de las líneas de distribución eléctrica. Al salir de operación, habría una suspensión del fluido eléctrico y por lo tanto se estaría generando un lucro cesante importante.

#### **- SISTEMA INTERCONECTADO PARA AMERICA CENTRAL (SIPAC)**

Se trata de un proyecto de transmisión de alta tensión entre Panamá y Guatemala, con una eventual extensión a mayor plazo hasta México y quizás Colombia. La idea es facilitar el sistema de trasiego eléctrico entre los países del área para paliar los problemas de los sistemas actuales y optimizar los recursos energéticos renovables (Cuenca Electro-Energética de América Central).

Por sus características, la línea vital, sus sistemas anexos (generación, subestaciones, distribución) y longitud, se encuentra expuesta a prácticamente todos los fenómenos naturales destructivos (sismos, volcanes, ciclones, inundaciones, vientos y lluvias intensas, deslizamientos, erosión de suelos, sequías). Por esto, es imprescindible mejorar el conocimiento sobre dichos fenómenos, para garantizar su rentabilidad y longevidad.

#### **- PROYECTOS EOLICOS**

Los proyectos (ICE y privados) de utilización del viento para producir electricidad han comenzado a surgir en Costa Rica. Estos proyectos son obviamente muy dependientes del régimen de vientos de las regiones escogidas para implementarlos (dirección, fuerza, constancia, etc.) De la misma manera, los elementos principales (torres, aspas, turbinas, tendidos de cables) son vulnerables a los vientos extremos, sobre todo por su ubicación en las cimas de la divisoria continental (e.g. Tejona de Tilarán). El diseño de estos proyectos deberá considerar los problemas de sismicidad, deslizamientos y

lluvias de elevada intensidad.

#### **- PROYECTOS ELECTRICOS PRIVADOS**

Actualmente la Ley No.7200 con sus modificaciones y reglamentos, ha abierto la participación de la empresa privada en el campo de la generación eléctrica. Esto ha traído como consecuencia la aparición de una multitud de proyectos en casi todo el país.

Desafortunadamente, se ha observado que la mayoría de ellos no han sido estudiados suficientemente en lo concerniente a los problemas de amenazas naturales. Apenas se presentan estudios sismológicos preliminares, más se para cumplir con un requisito que para un verdadero análisis del riesgo. En general, han quedado fuera de estos estudios las situaciones de inestabilidad de laderas, erosión intensa de suelos, volcanismo, lluvias de elevada intensidad y las sequías.

El país dependerá en mayor o menor medida del suministro de esta energía. De ocurrir un desastre natural que afecte estas obras y que pudo haber sido al menos mitigado con un diseño apropiado, se presentarán situaciones problemáticas que podrían alterar sustancialmente el nivel y calidad de vida del ciudadano. Es por lo tanto necesario aumentar el nivel de exigencia, la calidad y cobertura de los estudios de estos proyectos, lo que redundará en un beneficio para el mismo dueño de las obras.

#### **IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En la tabla 4 se resumen los datos sobre los daños y pérdidas causadas por los desastres naturales en la infraestructura eléctrica de Costa Rica, Es evidente que los costos han alcanzado un nivel muy elevado y desafortunadamente el grado de conocimiento sobre ello no es preciso.

Estas pérdidas han sido la causa de que la inversión en reparaciones, reconstrucciones y correcciones haya sido invertida en otras obras y regiones; por lo tanto evitan un desarrollo armonioso y balanceado del país.

Si la voluntad del Estado costarricense de procurar un desarrollo sostenible es real, es necesario buscar opciones que permitan la disminución de los costos de las pérdidas por desastres naturales. La manera de alcanzar esto es mejorando el conocimiento de los fenómenos naturales destructivos, sus intensidades dañinas y las relaciones espacio-temporales de su recurrencia.

El ICE ha realizado desde hace bastante tiempo una labor de identificación de las principales amenazas naturales que afectan sus intereses y por lo tanto el de sus clientes. Para ello cuenta con el apoyo de la Universidad de Costa Rica y la Comisión Nacional de Emergencia. A partir de ahora deberá centrar su labor en la sistematización,

zonificación y cuantificación del grado de destructividad de los fenómenos y actualizar el conocimiento de la vulnerabilidad de sus obras y servicios. De esta manera podrá establecer planes de prevención, mitigación y contingencia para garantizar una respuesta adecuada y pronto reestablecimiento de los servicios, mejorando la confiabilidad y durabilidad de los sistemas. Con ello, será posible mitigar el impacto de los desastres naturales para beneficio de todo el país. Las empresas privadas dedicadas a la generación eléctrica deberían seguir este buen ejemplo.

Es imprescindible sistematizar la información de los daños físicos y económicos ocasionados por los fenómenos naturales a la infraestructura electroenergética. Esto contribuirá a mejorar los procesos de planificación de los recursos naturales renovables e impulsar el desarrollo sostenible.

De acuerdo con la experiencia del ICE es posible afirmar que para garantizar una protección razonable, de acuerdo con el avance tecnológico y conocimientos disponible sobre las características geológicas, geotécnicas e hidrometeorológicas asociadas con los fenómenos naturales destructivos, la inversión mínima necesaria, no necesariamente sobrepasa el 1% del costo total de la obra en cuestión. Considerando el elevado valor de las obras energéticas y de los daños que podrían presentarse en caso de no realizarse una adecuada valoración de antemano, puede considerarse que la relación beneficio/costo de la prevención es muy beneficiosa.

Se recomienda por lo tanto la realización de análisis de amenaza, vulnerabilidad (grado de exposición, fragilidad) y riesgo de los proyectos, así como re-evaluaciones periódicas utilizando metodologías actualizadas y sistemas de auscultación y vigilancia modernos (Figura 5).

## VI. BIBLIOGRAFIA

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS BASICOS, ICE; 1989. Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Reventado. Dir. Planif. Eléctrica, ICE. 122pp.

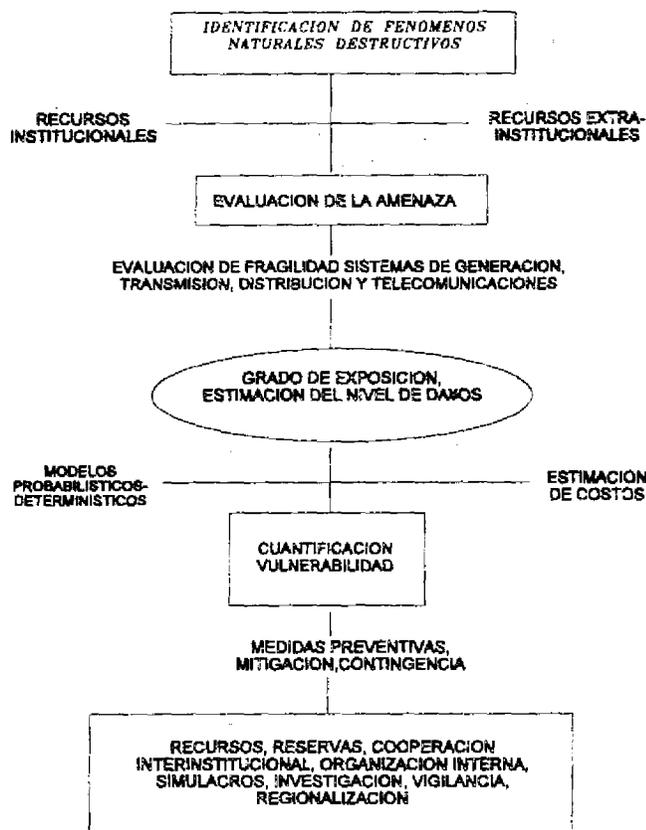
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS BASICOS, ICE; 1989. Estudio hidrometeorológico de los efectos producidos por el Huracán Joan en Costa Rica. Dir. Plan. Eléctrica. 325pp.

ESTRADA, A; 1986. Análisis Geológico-Geotécnico del Deslizamiento de San Blás. Cartago, Costa Rica. Tesis Licenciatura, Escuela C.A. de Geología, Univ. de C. R. 121 pp + 12 mapas.

FLORES, I; ARRIOLA, G; MINERO, J; 1995. Evaluación de los daños causados por desastres naturales en el sistema Eléctrico Nacional de Costa Rica. Seminario: Recursos naturales energéticos, amenazas naturales y desarrollo

sostenible. Informe inédito. ICAP. 75pp.

**Figura 5. La prevención y mitigación de los desastres naturales en el ICE.**



MARTINEZ, S; SOLERA, R; 1988. La Vulnerabilidad de las Torres de las Líneas de Transmisión de Alta Tensión Eléctrica sobre el Deslizamiento de San Blás. Curso OEA-ICAP. 16 pp.

MORA, S; 1979a. Estudio geológico de una parte de la región sureste del Valle del General. Tesis de Licenciatura. Escuela C.A. Geología, Univ. C. R. 3 vols.

MORA, S; 1979b. Estudio geológico-geotécnico del Provento Hidroeléctrico Boruca. Depto. Geología, Instituto Costarricense de Electricidad. 2 volúmenes de textos y volumen de planos.

MORA, S; RIVAS, M; 1983. Evaluación de los daños generados por el sismo de La División (3/7/83) sobre las líneas de transmisión de Río Macho-San Isidro. Departamento de Geología, I.C.E. Informe interno inédito. 17pp.

MORA, S; 1985. Las Laderas Inestables de Costa Rica. Revista Geológica de América Central. Vol. 3; p. 131-161.

MORA, S; DELGADO, J; ESTRADA, A; 1985. Análisis Geotécnico del Deslizamiento de San Blás, Río Reventado, Cartago, Costa Rica. I Simposio Latinoamericano de Desastres Naturales. Com. Ecuatoriano de Ing. Geológica-Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. 12 pp.

MORA, S; MORALES, L; 1986. Los sismos como fuente generadora de deslizamientos y su influencia sobre la infraestructura y líneas vitales de Costa Rica. II Sem. Nat. Ing. Estruct-IV Sem. Latinoamericano In. Sismo-resistente. CFIA, C.R.p.201-207.

MORA, S; 1989. Extent and Social-Economic Significance of Slope Instability in Costa Rica. Landslides, Brabb & Harrod (eds.), Balkema, Rotterdam, p.93-99.

MORA, S; VALDES, R; RAMIREZ, C; 1989. Los deslizamientos del 2 de julio de 1987 en el Cerro Doán, Cartago, Costa Rica. Rev. Tecnología en Marcha, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Vol.9, No.3, p.15-26.

MORA, S; ALVARADO, G; MORALES, L; 1992. Mapa preliminar sintético de amenazas geológicas de Costa Rica: Su importancia en el desarrollo de la infraestructura civil. Revista Geográfica de América Central. Nos. 25-26, p. 355-371.

MORA, S; 1993. Análisis preliminar de la vulnerabilidad económica de la ciudad de Cartago, a causa de los efectos de una avalancha que transite por el río Reventado, Costa Rica. Revista Geológica de América Central. Vol.15, p. 65-30.

MORA, S; MADRIGAL, C; ESTRADA, J; SCHUSTER, R; 1993. The 1992 río Toro Land-slide-dam, Costa Rica. Landslide News Vol.7 (August), p.19-22.

MORA, S; 1994. Los desastres naturales detienen el desarrollo socio-económico de Costa Rica. I Simposio Latinoamericano Deslizamientos, Guayaquil, Ecuador.

MORA, S; YASUDA, S; 1994. Licuefacción de suelos y fenómenos asociados durante el terremoto de Limón. Rev. Geológica de América Central. Vol. Esp. p.121-132.

MORA, S; MORA, R; 1994. Los deslizamientos causados por el terremoto de Limón: Factores de control y comparación con otros eventos en Costa Rica. Revista Geológica de América Central. Vol. Esp. p. 139-152.

MORA, S; DE LA CRUZ, C; LLACH, L; RODRIGUEZ, J; UREÑA, L; 1994. Boruca: A Major Challenge for Costa Rica's Hydropower Development. Proc. XVIII Congress International des Grands Barrages, Durban. ICOLD. C.19; p.951-968.

MORA, S; 1995. The Impact of Natural Disasters on the Socio-Economic Development in Costa Rica. Bull. Intl. Ass. Engineering Geologists (in press).

ORELLANA, E; AVALOS, H; 1988. Evaluación del Impacto de los Posibles Daños del Deslizamiento de San Blás sobre la Planta Hidroeléctrica de Cachí. OEA-ICAP. 23 pp.

PERAZZO, E; CERVANTES, F; MORA, S; 1994. Análisis geotécnico del deslizamiento de Piedras de Fuego. VI Seminario Nacional de Geotecnia. 26pp.

1/2... TABLA 1. Costos de los daños más importantes causados por desastres naturales (ICE).

FECHA	SITIO Y/O OBRA AFFECTADOS	EVENTO NATURAL	TIPO DE DAÑOS	COSTO ESTIMADO (en dólares US)
Jun/74	Línea Transmisión Cachí-El Este	Deslizamiento	Torre 41	20.000
1970-79	Planta hidroeléctrica Río Macho	Lluvias intensas, sismos, deslizamientos, avalanchas, erosión, sedimentación	Tomas Destierro, Perras, Villegas, río Badilla, caminos de acceso, dragado, etc.	850.000
1980-89	Planta hidroeléctrica Río Macho	Idem...	Idem...	2.095.000
1990-94	Planta Hidroeléctrica Río Macho	Idem	Idem...	1.995.000
1982	Presa Santa Rosa	Deslizamiento	Erosión, atraso en construcción	400.000
3/7/83	Líneas de transmisión Río Macho-San Isidro (2)	Terremoto de la División (Pérez Zeledón)	Deslizamientos afectaron las torres	195.000
1985	Proyecto Hidroeléctrico Ventanillas-Garita	Deslizamientos causados por sismos o lluvias	Presa Virilla M.I.	1.020.000
1986	Idem...	Idem...	Toma del río Ciruelas Trinchera de Tamarindo	19.000 750.000
1987	Idem...	Idem...	Trinchera entre Tamarindo y PI-7 (baja presión)	28.000
2/7/87	Planta de Cachí	Lluvia (150mm/2,5h)	Deslizamientos	2.720.000
Set/88	Todo el país	Huracán Gilbert Lluvias intensas	Inundaciones, deslizamientos, erosión, sedimentación	125.000
Oct/88	Todo el país	Huracán Joan Lluvias intensas	Inundaciones, deslizamientos, erosión, sedimentación	450.000
Set/89	Proyecto Hidroeléctrico Sandillal	Lluvia intensa	Deslizamiento en la margen Izq. Presa	890.000

FECHA	SITIO Y/O OBRA AFECTADOS	EVENTO NATURAL	TIPO DE DAÑOS	COSTO ESTIMADO (en dólares US)
10/3/90	Planta y subestación de Barranca	Terremoto de Cóbano ( $M_s=6.1$ ; $IMM_{Ma}=VIII+$ )	Tanques de combustible, distribución	689.000
Jun/1990	Proyecto Nagatac	Lluvia intensa	Deslizamiento del canal de conducción	25.000
1990	Puriscal y alrededores	Enjambre sísmico $n>100.000$ eventos $M_{sMa}=5.9$ ; $IMM_{Ma}=VIII+$	Deslizamientos, problemas de distribución	95.000
1990	Planta hidroeléctrica Ventanas-Garita	Crisis sísmica (eventos de Cóbano, Puriscal, Piedras Negras, Limón)	Deslizamientos, problemas de operación, reparaciones, obras nuevas: - Presa San Miguel - Camino acceso C.Máquinas - Tubería Tamarindo - Margen izquierda Virilla - Deslizamiento C.Máquinas	35.000 75.000 55.000 10.000 125.000
1991	P.H. Ventanas-Garita	Idem...	- Otras reparaciones - Conclusión retención deslizam. C. Máquinas	20.000 2.950.000
			SUBTOTAL	3.290.000
6/10/91	Planta Hidroeléctrica Nagatac	Lluvia intensa	Deslizamiento de la tubería forzada	103.400
1991	Región de Limón	Terremoto, licuefacción deslizamientos, inundaciones, etc.	Planta de Moín, líneas de transmisión y distribución, lucro cesante	7.686.000
Jun-Ago 1992	Proyecto Hidroeléctrico Toro II	Lluvia intensa	Deslizamiento, represamiento, sedimentación	195.000
24/7/92	Planta Hidroeléctrica Cachi	Lluvia intensa	Deslizamientos, erosión, avalanchas, sedimentación	930.000