

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA VULNERABILIDAD ECONOMICA DE LA CIUDAD DE CARTAGO, A CAUSA DE LOS EFECTOS DE UNA AVALANCHA QUE TRANSITE POR EL RIO REVENTADO, COSTA RICA

Sergio Mora C.

Dpto. Geología. Instituto Costarricense de Electricidad (ICE),
Apdo. 10032, 1000 San José, Costa Rica
Escuela Centroamericana de Geología (UCR)

ABSTRACT: In this study, a preliminary approach has been carried in order to consider the economic vulnerability of the city of Cartago, Costa Rica. A possible laharc or debris flow has been considered as the threatening scenario. Historic and pre-historic evidences show this to be possible either by a violent triggering of a major active or recently active landslide, particularly San Blás, which is the most active at present, seismic or volcanic activity as well as the development of a high intensity rainfall. All this phenomena could act alone or combined. Present land use has significantly contributed to increase the hazard, specially the uncontrolled activity of quarries exploiting materials for construction. Damages (direct costs) have been considered as likely to be generated in power lines, oil pipe line, roads, bridges, railroad, aqueducts, housing, industrial parc, population and the early silting of a hydroelectric reservoir. This study must not be considered as exhaustive because of lack of further reliable data about the situation of other industries, commercial buildings and the impact over the gross national product.

RESUMEN: Se presenta un análisis preliminar de la vulnerabilidad económica de la ciudad de Cartago, su población, infraestructura, líneas vitales y actividades productivas, causada por una posible avalancha lahárica que transite por el cauce del río Reventado. El proceso de disparo de esta avalancha podría tener su origen en la reactivación violenta de alguno de los deslizamientos activos o recientemente activos dentro de su cuenca, entre ellos el de San Blás, cuya tasa de movimiento es la más alta en la actualidad. La historia y prehistoria de la localidad muestran que también es posible este fenómeno como producto de la actividad sísmica y volcánica, lluvias de alta intensidad, o su conjugación. La actividad humana, el uso inadecuado de la tierra y en particular la explotación irracional de canteras para la extracción de materiales de construcción, juega un papel cada vez más importante en los procesos de desestabilización. Así, han sido consideradas las pérdidas posibles (costos directos) en las líneas de transmisión de alta tensión, oleoducto, carreteras, puentes, línea férrea, acueductos, vivienda, población, parque industrial y la sedimentación precoz de un embalse hidroeléctrico. Desafortunadamente, el estudio no ha podido ser exhaustivo, por la carencia de datos más confiables e información sobre otras industrias, edificaciones comerciales y el impacto sobre el producto nacional bruto.

INTRODUCCION

Localización

La cuenca del río Reventado se encuentra en la provincia de Cartago, al norte de la ciudad del mismo nombre y en el flanco sur del Volcán Irazú (Fig. 1). Vierte hacia el mar Caribe, al ser afluente del río Reventazón, aunque su clima también se ve afectado frecuentemente por los sistemas del Océano Pacífico.

Definición de la Amenaza

La cuenca del río Reventado posee un abundante historial relacionado con situaciones derivadas de los fenómenos naturales destructivos. Es así como se sabe de numerosos casos de avalanchas que han descendido por el cauce del río Reventado, generadas por el volcanismo, sismicidad (Cartago ha sido destruida por tres terremotos), deslizamientos, lluvias de elevada intensidad o por su combinación. Como prueba de la



Fig. 1. Mapa de localización de la cuenca del río Reventado, Cartago.

actividad prehistórica, puede mencionarse el conjunto de abanicos laháricos de piedemonte, coalescentes y superpuestos, sobre los cuales se ha desarrollado el área metropolitana de la ciudad de Cartago.

Debe recordarse que en la época colonial española, la ciudad de Cartago era conocida como la "Ciudad del Lodo", pues al haber sufrido en varias ocasiones el embate de las avalanchas provenientes del volcán Irazú, fue necesario reubicarla. Esta fue una de las razones secundarias para tomar la decisión de trasladar la capital de Costa Rica, hacia la ciudad de San José. Cartago ha sufrido avalanchas de lodo al menos en los años 1724 (actividad del V. Irazú), 1861 (temporal en octubre), 1891 (temporal en octubre), 1928 (temporal en noviembre) y 1951 (temporal en octubre, caudal estimado 226 m³/s). El último ejemplo de este tipo de fenómeno lo constituye la avalancha del 6 de diciembre de 1963 que destruyó el barrio de Taras, provocando la muerte de alrededor de 30 personas, la destrucción de 575 viviendas y varias industrias.

En esa ocasión, la depositación de cenizas volcánicas en la cuenca superior, trajo por consecuencia la destrucción de casi la totalidad de su cobertura vegetal y la generación de un manto prácticamente impermeable. Con ello, fue impedida la infiltración hipodérmica y freática normal,

con lo que los tiempos de concentración fueron reducidos al mínimo, el índice de escorrentía consecuentemente alcanzó un enorme valor y se generó un desajuste hidrológico en la cuenca. Cualquier lluvia haría que el río Reventado aumentara violentamente de caudal.

A título de ejemplo y según ocurrió, se puede mencionar que la precipitación promedio anual en la cuenca del Río Reventado, con un área de 44 km², es de alrededor de 1350 mm/año, una de las más secas del país. El caudal promedio anual es de 0,75 m³/s. Durante la catástrofe de 1963, la precipitación máxima fue de 80 mm en 17 horas, lo cual en realidad no es una tormenta extraordinaria, aunque el caudal que se generó en el río fue de 407 m³/s, o sea, alrededor de 550 veces mayor que el caudal promedio anual (Depto. Estudios Básicos, ICE, 1989).

En la actualidad, en esta cuenca se han reconocido como activos o parcialmente activos 14 grandes deslizamientos, al menos cuatro de ellos con un volumen superior al millón de metros cúbicos. El más grande es el de San Blás, con un volumen de alrededor de 55 millones de metros cúbicos y una tasa de movimiento de cerca de 12 a 15 m/año (Mora et al, 1985). Si alguno de estos deslizamientos se movilizara violentamente, sería posible un represamiento del cauce del río Reventado, el cual, al acumular agua en un embalse

efímero podría romper violentamente la presa y generar una avalancha. Este fenómeno se aceleraría si ocurre en combinación con un evento sísmico, volcánico o atmosférico (Figs. 1 y 2). Tómese en cuenta el hecho de que el uso actual de la tierra es también un elemento adverso adicional, en particular la explotación de canteras de materiales para la construcción, como las que operan en la base del deslizamiento de San Blás.

LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VULNERABLES Y SU COSTO ECONOMICO

Generalidades

La región de la ciudad de Cartago ha experimentado un rápido desarrollo en los últimos años. Este desarrollo no solo se ha manifestado con un crecimiento acelerado de la población, que hoy día alcanza cerca de 100 000 personas, sino también en las obras de infraestructura, líneas vitales y actividades productivas ahí ubicadas. Algunos de esos elementos revisten incluso una importancia de nivel regional y nacional.

Tanto el estado de las estructuras civiles como su cercanía al cauce y áreas amenazadas por una posible avalancha, han sido considerados, categorizándose así su nivel de exposición y vulnerabilidad física.

Escenario de amenaza analizado

Para este análisis, se ha esquematizado un escenario generado a partir de la suposición de que, por una razón u otra, sea disparada una avalancha en algún punto de la cuenca del río Reventado. Esta avalancha podría ser el producto de la desestabilización violenta de uno de los grandes deslizamientos reconocidos como activos o recientemente activos (Mora et al, 1985).

Aparte de esto, es de mencionar que el volcán Irazú, desde 1821, nunca ha estado inactivo por más de 30 años, por lo que a partir de la actualidad se encuentra sobre su tiempo de reactivación (Alvarado y Boschini, 1988); un nuevo ciclo eruptivo es tan solo cuestión de tiempo (Fig. 2).

En cuanto a la actividad sísmica, debe mencionarse que ya han transcurrido 82 años desde el último terremoto que destruyera Cartago (1910). Antes de este evento, había ocurrido el de 1841, o sea 69 años, por lo que se puede considerar que el

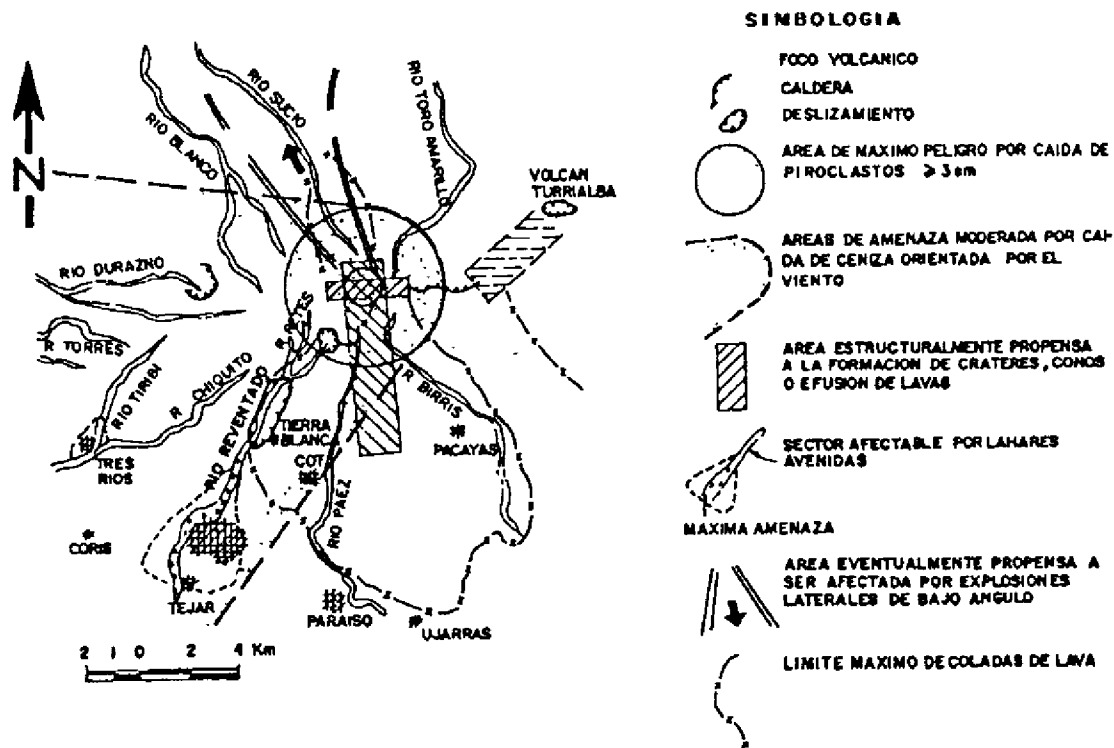
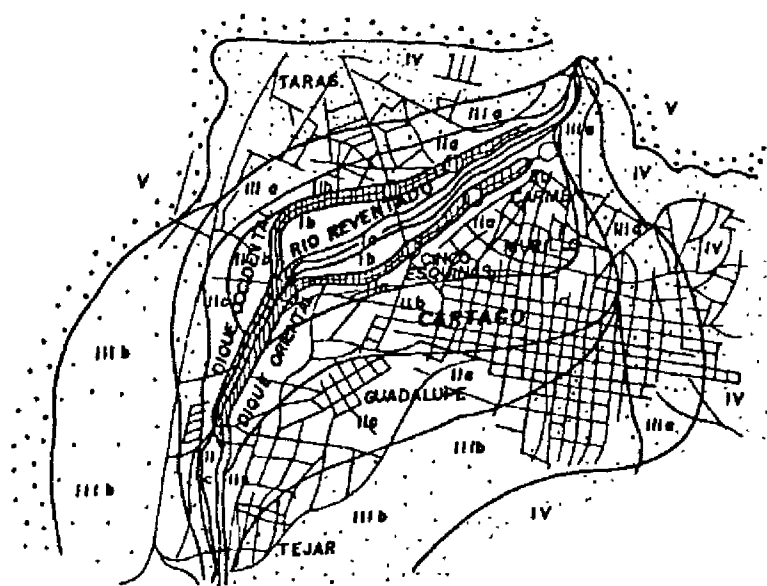


Fig. 2: Mapa de amenazas naturales en los alrededores del macizo del volcán Irazú (según Alvarado & Boschini, 1988).



- I a Máxima amenaza (Cauce y riveras del río Reventado).
- II b Amenaza elevada: Área entre el cauce y el borde interno de los diques.
- I c Amenaza elevada: En eventos que dañen o destruyan los Diques.
- II a Amenaza importante En caso de un evento que dañe o destruya los diques.
- II b Amenaza importante. Si la avalancha logra extenderse fuera de los diques.
- II c Si la magnitud de la avalancha es tal que sobrepase fuera de los diques.
- III a Área afectable: Si la avalancha es de gran envergadura, amenaza moderada.
- IV Área dañable en caso de un evento de extrema magnitud, amenaza baja.
- V El alcance de la avalancha es casi imposible, amenaza prácticamente nula.
- O Brechas abiertas en los diques para carreteras, ferrocarriles y acueductos

Fig. 3: Mapa de macrozonificación y extensión de los diferentes niveles de amenaza generados por una avalancha lahárica que transite sobre el cauce del río Reventado y pudiese afectar la ciudad de Cartago.

período de recurrencia sísmica se encuentra también en proceso de vencimiento (Alvarado y Boschini, 1988).

Desde el punto de vista de las lluvias de elevada intensidad, desde 1861 en adelante han ocurrido al menos cinco que han generado avalanchas. El período más largo transcurrido es de 37 años, mientras que el promedio es de $25,5 \pm 9$ años. Bajo estas circunstancias y considerando que la última avalancha importante ocurrió en 1963, el borde inferior del período de recurrencia fue alcanzado en 1988 y el superior lo será el 2000. Tómese en consideración que el menor período entre avalanchas ha sido de 12 años, por lo que estos eventos también pueden ocurrir fuera de su recurrencia estadística promedio.

Por último, cabe mencionar que los eventos catastróficos pueden ser el producto de una conjugación simultánea de factores: Deslizamiento, sismo, volcán y tormenta, pueden ocurrir por separado, pero también juntos y para alcanzar su

potencial destructivo en ese caso, no se requiere de su mayor magnitud individual. Esta situación será más plausible cuanto mayor sea también la tasa de extracción de material del tajo en San Blás.

Ha de ser considerada también la posibilidad de que el fenómeno de avalancha, independientemente de su origen, tenga magnitudes pequeñas (aunque ya dañinas), medianas y máximas, en este último caso muy destructivas, como la de Taras en 1963. Es claro que entre mayor sea la magnitud considerada, la probabilidad de exceedencia será menor y su período de recurrencia mayor (Fig. 3).

A continuación se describen y mencionan las obras y componentes socio-económicas principales, sobre las cuales se ha encontrado información disponible y accesible (Fig. 4). Otros datos no podrán ser tomados en cuenta por inexistencia o inaccesibilidad, aparte de que se advierte que la fiabilidad de las fuentes no permite asegurar siempre un adecuado nivel de precisión de la informa-

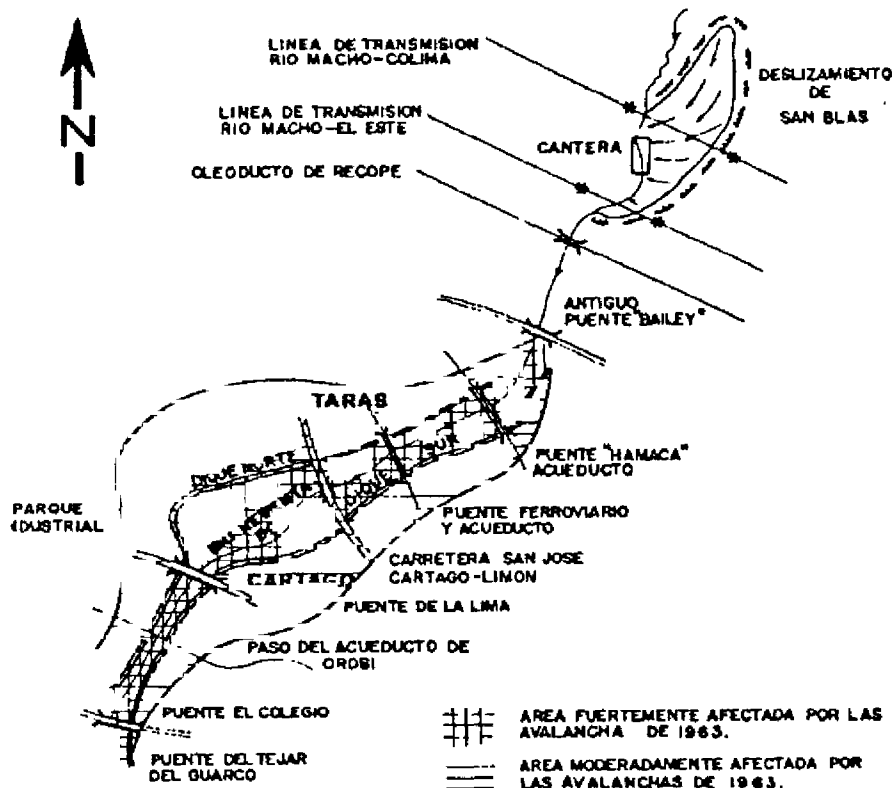


Fig. 4: Mapa de localización de las principales líneas vitales que cruzan sobre el cauce del río Reventado.

ción. Cabe destacar que solamente se han considerado los posibles costos directos de los daños; (Valores de 1988) no se han analizado los costos indirectos, secundarios o externalidades, como tampoco su capitalización ni el impacto sobre el Producto Nacional Bruto.

El Oleoducto

El Poliducto de la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) atraviesa el cauce del río Reventado sobre un puente a una distancia aproximada de 400 m aguas abajo de la base inferior del deslizamiento de San Blas. Por las tuberías son trasegados gasolina, diesel, kerosene, jet-fuel, con un caudal de 550 barriles/hora (Rivas y Martínez, 1988) (Fig. 4).

El nivel de vulnerabilidad del oleoducto es bajo a moderado, pues se encuentra a una altura de alrededor de 20 m sobre el cauce del río. Solamente una avalancha de proporciones tales que su tirante fuera tan alto, o una erosión intensa y socavación de los estribos del puente podrían hacerlo fallar. Es de hacer notar que avalanchas

de tirantes semejantes y aun superiores son fenómenos relativamente frecuentes en la naturaleza (e.g. Armero-Colombia, Yungay-Perú, Reventador-Ecuador, New Britain -Papúa New Guinea).

En el caso de un daño parcial, el costo de los materiales de reposición sería de alrededor de \$ 4000, el derrame de hidrocarburos se puede estimar en \$ 400 (20 barriles) y el tiempo de reparación en alrededor de 1 semana (aproximadamente 92 400 barriles sin trasegar). Si el daño fuera total y considerando un plazo de restitución de aproximadamente dos meses (se dispone de reservas equivalentes al consumo de los productos durante un mes), se requeriría trasegar combustibles por medio de camiones-cisterna, pues si se ha dañado el oleoducto, con mayor razón lo mismo habrá ocurrido con el ferrocarril, como se verá más adelante.

Para sustituir el rendimiento del oleoducto se requeriría alrededor de 75 camiones-cisterna laborando las 24 horas del día (40 barriles/camión/5 horas). El sobrecosto sería de \$ 2,80/barril, en comparación con el costo de trasiego por el oleoducto (\$180 000 con el oleoducto contra \$

1 300 000 con camiones). Si a esto se suman los costos de reparación (materiales y mano de obra) por un monto de \$ 30 000 más \$ 400 de derrame de combustibles y \$ 1 120 000 de costo adicional de transporte, el costo en caso de pérdida total sería de alrededor de \$ 1 150.000. Este costo sería absorbido como pérdida por RECOPE, o más probablemente trasladado como incremento de precios al consumidor.

Varios son los costos secundarios que si bien no fueron cuantificados, son importantes. Por ejemplo, todas las actividades domésticas, industriales, comerciales, servicios, etc. que requieran del consumo de combustibles, sufrirían de una disminución de su ritmo e incluso tal vez paralizaciones y en todo caso grandes pérdidas. Además, se congestionaría el tránsito por las vías por donde circularían los camiones cisternas, por lo que aumentaría el riesgo de derrames, contaminación, accidentes, liberación de gases tóxicos, etc. Desafortunadamente, sería necesario respaldarse en la confiabilidad de la carretera Braulio Carrillo.

Puentes y Carreteras

El área metropolitana de la ciudad de Cartago es cruzada por siete carreteras principales, de las cuales seis poseen puentes de vulnerabilidad significativa, al atravesar en algún sitio el cauce del río Reventado. Estas son también aquellas sobre las cuales circula el mayor volumen de tránsito de la región. La vulnerabilidad de estos puentes se ha definido como una función de su antigüedad, condiciones, estado y resistencia de su estructura, altura sobre el cauce y grado de exposición al fenómeno. Estos criterios se han utilizado para definir, con base en una calificación subjetiva, la más baja vulnerabilidad= 1 y la más alta = 10. A continuación se describen según lo anterior (Hernández y Montalván, 1988) (Figura 4):

a. *Bailey*: Se trata del puente que ocupa el sitio en donde estuvo ubicado el antiguo puente "Bailey", destruido durante la catástrofe de 1963-1965. El actual puente fue construido en 1982 y posee una armazón de acero de 90 m de longitud, 25 m de ancho y 25 m de altura sobre el cauce. Su valor actual oscila alrededor de \$ 1 250 000 y su nivel de vulnerabilidad es relativamente bajo, no obstante se encuentra a 750

m aguas abajo del borde inferior del deslizamiento de San Blás (Tabla I).

- b. *La Lima*: Fue construido en 1986 como parte de la carretera de Circunvalación Sur. Es de concreto, 70 m de longitud, 25 m de ancho, 9 m de altura sobre el cauce. Sobre él circulan alrededor de 500 vehículos/hora. Su vulnerabilidad es relativamente elevada a causa de su escasa altura y por el hecho de haber sido colocado en el mismo sitio en donde los diques de protección de la ciudad de Cartago convergen y estrechan el cauce. Además, fue necesario construirlo utilizando dos rampas de aproximación y bastiones, lo que redujo considerablemente el espacio hidráulico del cauce. En caso de que una avalancha alcance este sitio, lo más probable es que se desborde lateralmente rompiendo las rampas y/o los diques, lo que propiciaría la expansión del lodo fuera del área confinada por estos últimos. Su costo es de cerca de \$ 1 250 000.
- c. *Taras*: Este puente y un tramo de alrededor de 400 m de carretera fueron totalmente destruidos por las avalanchas de 1963-65, dado que se encuentran prácticamente al nivel del río Reventado. El puente es el elemento de mayor vulnerabilidad. Posee una longitud de 20 m, ancho de 10 m y altura sobre el cauce de 4 m. Su costo actual es de cerca de \$ 65 000 y puede ser destruido incluso durante una avalancha, no necesariamente muy importante (Tabla I).
- d. *Tejar*: Este puente tiene una longitud de 20 m, ancho de 10 m y una altura sobre el cauce de 4 m. Su costo actual es de \$ 65 000 y posee un nivel mediano de vulnerabilidad relativa.
- e. *Escosa*: Comunica la ciudad de Cartago con el área de ESCOSA y el resto del Parque Industrial. Es muy utilizado por el personal que labora en ese sector. Sus dimensiones son modestas, pues su longitud es de 15 m, ancho 12 m y la altura sobre el río es de 2,5 m. Su nivel de vulnerabilidad es relativamente elevado, en especial por su escasa altura sobre el río. Su valor estimado es de alrededor de \$ 35 000.

Tabla 1

Niveles de vulnerabilidad de los puentes más importantes del área de la Ciudad de Cartago que cruzan el río Reventado

Puente	Estado y resistencia de estructura	Altura sobre el cauce y Esp. Hidraul.	Grado de exposición al fenómeno	Antigüedad y condición actual	Promedio
Bailey	3	3	9	3	5
La Lima	8	9	7	3	7
Taras	10	10	8	6	10
Tejar	7	7	4	8	6
Escosa	8	8	6	6	7
El Colegio	8	8	6	6	7

Nota: Clasificación del nivel de vulnerabilidad: Alto (9-10), Mediano (7-8), Moderado (5-6), Bajo (1-4).

f. *El Colegio*: Posee características semejantes al anterior. Su valor estimado es de alrededor de \$ 30 000.

El costo total, en caso de la destrucción completa de todos los puentes antes mencionados sería de alrededor de \$ 2 695 000. Para el caso de daños parciales, puede asumirse un costo menor en cada puente, según cada caso. En cuanto a los costos indirectos y secundarios, estos se harían sentir sobre todo a nivel de los tiempos de respuesta durante el período de crisis, el período de reconstrucción, la interrupción en el sistema de trasiego de bienes y servicios entre la ciudad de Cartago y el resto del país, sobre todo con las regiones occidental y norte. Para poder tener acceso a Turrialba, otros centros de población y actividad económica de esta región se necesitaría, desde San José, un recorrido adicional a través de la carretera Braulio Carrillo, lo que contribuiría a congestionarla aun más.

Por otra parte, la ciudad de Cartago se ha ido convirtiendo paulatinamente en una "ciudad dormitorio", pues la mayor cantidad de fuentes de trabajo se encuentran en San José. El perjuicio en este caso estriba en el problema del desplazamiento de las personas hacia sus centros laborales. Un problema adicional podría ser el descenso de la capacidad operativa, eficiencia y autonomía de los sistemas de socorro y salud, entre otros.

Línea y Puente Ferroviarios

Ferrocarriles de Costa Rica (FECOSA) es propietaria de la línea férrea al Atlántico, la cual

atraviesa el cauce del río Reventado en uno de los sectores más dañados por la avalancha de 1963. Existen alrededor de 400 m de línea y un puente ferroviario muy vulnerables (Fig. 4).

Según García y Reyes (1988), el costo por Km de vía férrea es de alrededor de \$ 3 800, mientras que el puente tiene un valor cercano a \$ 1000/m. Por otro lado, hay que tomar en cuenta que antes de la interrupción definitiva del flujo ferroviario causado por un deslizamiento en la localidad de Chiz de Turrialba, mensualmente se movilizaban por el ferrocarril alrededor de 19000 ton de mercancías (maderas, combustibles, metales, importaciones y exportaciones, etc.) y un promedio de 78 200 pasajeros. La diferencia de costos, con relación al transporte por la carretera Braulio Carrillo es aproximadamente \$ 135 000/mes, que deberían ser cubiertos por el consumidor, mientras que FECOSA dejaría de percibir \$ 21 000/mes por concepto de transporte de pasajeros (García y Reyes, 1988). Aunque ya no se desplazan estos bienes y servicios, el análisis se aplica para la estimación de la pérdida de un potencial de comunicaciones considerable, en todo caso, parte del patrimonio del país (e.g. Intertrén).

La Tabla II muestra las estimaciones de costos en caso de eventos de pequeña y mediana magnitud así como por pérdida total, semejante al caso de 1963. Como daños secundarios e indirectos y aparte de las consecuencias de la interrupción del tránsito de pasajeros, mercancías, exportaciones e importaciones, se contribuiría al embotellamiento de las rutas alternas. Tampoco se ha considerado la posibilidad de pérdida de vidas humanas en caso de que la avalancha ocurra

Tabla II

Categoría de costos para los casos de daños en el puente y vía férrea,
para eventos de diferente magnitud

Obra y Rubro	:	Daños leves	:	Daños medianos	:	Daños Totales
Fuente	:	\$ 30.000	:	\$ 90.000	:	\$ 120.000
Vía Ferrea	:	\$ 1.600	:	\$ 23.000	:	\$ 150.000
Sub-total	:	\$ 31.600	:	\$ 113.000	:	\$ 270.000
Perdida para el Consumidor	:	\$ 13.500	:	\$ 135.000	:	\$ 405.000
Perdida para Fecosa	:	\$ 14.500	:	\$ 145.000	:	\$ 435.000
Totales	:	\$ 59.600	:	\$ 393.000	:	\$ 1.110.000

en el momento en que transite un tren con pasajeros. Por otra parte y en vista de que prácticamente todos los insumos ferroviarios son importados, cualquier daño total o parcial significaría una fuga de divisas para el país.

LOS ACUEDUCTOS DE CARTAGO Y METROPOLITANO

El Acueducto Metropolitano

Este acueducto tiene por objetivo garantizar el suministro de agua potable para el área metropolitana de San José, supuestamente hasta aproximadamente el año 2003. Su costo fue de \$ 56.000.000 y trasiega un caudal aproximado de 2,1 m³/s, utilizados para abastecer una población cercana a 870.000 habitantes (Prudott y Cuevas, 1988). La Tabla III muestra una comparación estimativa de costos de los daños en caso de eventos de magnitudes leve, mediana o una destrucción total del acueducto.

La perforación o desprendimiento de alguna pieza clave del acueducto podría generar una fuga o al menos una pérdida de presión suficiente como para que el agua no ascienda hasta el punto

más alto de la conducción (túnel de La Carpintera) y por lo tanto, no pueda ser alimentada la planta de tratamiento de agua de Tres Ríos. Tómese en cuenta que la presión interna del acueducto es de alrededor de 12 kg/cm² en el sitio que pasa por debajo del cauce del río Reventado.

Un daño de este tipo en la obra, traería como consecuencia la afectación del 53% de los usuarios de la ciudad de San José y 33% de Cartago. Para sustituir el servicio al menos parcialmente, sería necesario poner de nuevo en funcionamiento en máxima capacidad el sistema de bombeo de las captaciones de los manantiales de Puente de Mulas y Potrerillos. Este sistema es eléctrico por lo que significaría una sobrecarga en el consumo del sistema interconectado. Si adicionalmente han sido afectadas las torres de las líneas de transmisión que cruzan el deslizamiento de San Blás, la situación eléctrica se complicaría aun más (Fig. 4).

Al estar disminuida la capacidad operativa de los acueductos respectivos, aumentarían las posibilidades de deterioro sanitario, desarrollo de enfermedades epidemiológicas y la incapacidad de manejo de incendios. Al mismo tiempo, las actividades agropecuarias, domésticas, industriales y comerciales sufrirían pérdidas importantes, aun no estimadas.

Tabla III

Costo aproximado de los daños en el Acueducto Metropolitano, en el caso de eventos de vanada magnitud

Magnitud del Fenómeno	:	Período Fuera De operación	:	Pérdidas (\$)	:	Costo reparación (\$)	:	Total (\$)
Leve	:	7 días	:	170.000	:	12.000	:	182.000
Mediana	:	30 días	:	729.000	:	50.000	:	779.000
Destrucción Total	:	60 días	:	1.450.000	:	90.000	:	1.548.000

Acueducto de Cartago

Los manantiales que alimentan las tuberías del acueducto de la ciudad de Cartago y que atraviesan el cauce del río Reventado en sectores vulnerables, se muestran en la Tabla IV. Estas tuberías atraviesan el cauce sobre los puentes "Hamaca" y el del Ferrocarril, por lo que su vulnerabilidad es elevada en la medida en que estos se vean afectados por la avalancha. Estas tuberías aportan cerca del 30% del consumo de agua potable de la ciudad de Cartago y al ser administradas por la Municipalidad, cualquier daño total o parcial deberá ser asumido por ella, con desembolso de recursos comunales propios. No fue posible evaluar, por falta de información, su costo directo de reposición (Fig. 4).

Tabla IV

Manantiales que alimentan parte del acueducto de Cartago y que atraviesan el cauce del río Reventado en áreas de elevada amenaza

Manantial	Elevación : (m s.n.m.) :	Caudal mínimo de operación (lts/s)
Río Loro	: 1571	: 60,0
Padre Méndez	: 1655	: 16,1
Arriaz	: 1490	: 60,1
Caudal Min. Tot. :	:	136,2

Líneas de Transmisión Eléctrica de Alta Tensión

Existen dos líneas de transmisión eléctrica de alta tensión que cruzan el cauce del río Reventado a la altura del deslizamiento de San Blás. En realidad, solamente una reactivación violenta del deslizamiento, en especial de sus flancos, podría generar daños parciales o totales en las torres aledañas, dado que estas y los cables que sostienen se encuentran a una elevación suficientemente segura como para estar a salvo de una avalancha. Las torres son de circuito doble, tienen un peso de 5ton y constituyen parte de las líneas Cachí-El Este (#6 y 7; 15 m de altura) y Río Macho-El Este (#43; 15 m y 41N; 24m de altura respectivamente) (Fig. 4).

En abril de 1974, fue necesario eliminar la torre #42, pues su punto de fundación se había desplazado 4,47 m horizontalmente de su posición original, a causa del movimiento del deslizamiento de San Blás. Ocho meses después, el

mismo punto se había corrido 16,3 m adicionales y el movimiento ha continuado hasta acumularse un desplazamiento total cercano a los 200 m al final de 1992.

Fue necesario sustituir en 1974, la torre #41 por una de mayor altura, para que los cables no hiciera contacto con el suelo. Sin embargo, un deslizamiento lateral, asociado al de San Blás, ha puesto en peligro esta torre, por lo que se encuentra en vías de reubicación. Las torres #6 y 7 también han dado indicios de desestabilización, por lo que medidas semejantes se justificarían 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 \$ 16.000, incluyendo los cables. De perderse las torres 41N y 43, por ejemplo, la pérdida sería de \$ 30.000 y si los daños fuesen totales en las torres 6, 7, 41N y 43, la pérdida incluiría los siguientes costos:

-Torres	:	US\$	50.000
-Cables	:		10.000
-Instalación	:		5.000
TOTAL	:		65.000

Un traslado de las líneas de transmisión, ya sea con carácter preventivo o luego de una catástrofe, haría incurrir al I.C.E. en una erogación de aproximadamente \$ 500.000 para la línea Cachí-El Este (5 km al norte) y \$ 300.000 para la línea Río Macho-El Este (3km al norte).

En cuanto a los efectos indirectos puede preverse que, con la ruptura de una sola de las líneas, se estaría recargando el circuito de trasiego hasta su límite máximo, es decir, 100 MW/h. Con ello, se rompería el anillo eléctrico Cachí-Río Macho-Colima-El Este, lo que produciría al menos una suspensión parcial del servicio en toda el área metropolitana de San José por espacio de al menos 24 horas, mientras se implementa un nuevo circuito.

Esta situación evidentemente traería por consecuencias, por solo citar algunas: pérdidas de percepción monetarias por parte del I.C.E. (energía no servida) y las compañías revendedoras, paralización de prácticamente todas las actividades que requieren del servicio eléctrico, grandes pérdidas en el sector industrial, pérdidas de artículos comestibles perecederos en los hogares por falta de refrigeración, afectación al sistema hospitalario, etc.

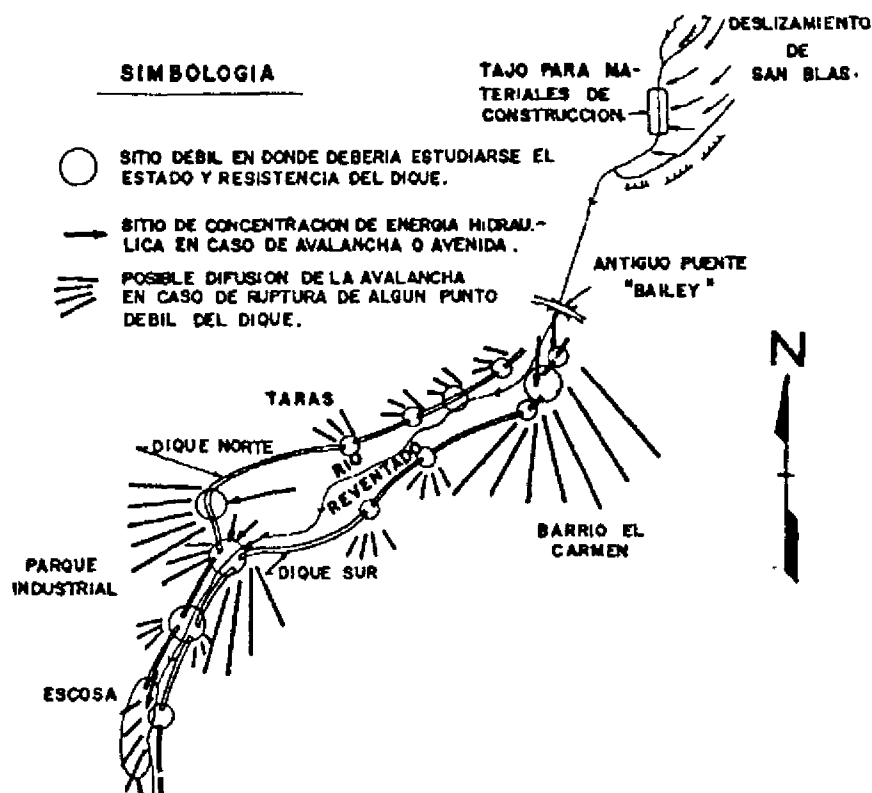


Fig. 5: Mapa de puntos débiles y de áreas de posible concentración de energía hidráulica en caso de que se presente una avalancha lahárica sobre el cauce del río Reventado, Cartago, Costa Rica

La necesidad de suplir este faltante energético, haría necesario recurrir a una sustitución por medio de electricidad generada a partir de plantas térmicas privadas (menor escala) y del propio I.C.E., o por medio de la importación desde países vecinos, lo que produciría una gran fuga de divisas. Además, sería necesario generar a partir de las reservas del embalse de Arenal y esto significaría reducir su almacenamiento y regulación.

La Vulnerabilidad de los Asentamientos de Precaristas

La invasión ilegal de terrenos propiedad del Estado (declarados zona de reserva luego de la catástrofe de Taras de 1963) comenzó en 1982. Este fenómeno tiene profundas raíces de carácter socioeconómico, además de que ha sido promovido por dirigentes políticos inescrupulosos en su afán de búsqueda irracional de votos electorales.

La situación se agravó a partir de 1986, con las promesas de la Administración Arias de construir 80.000 viviendas a corto plazo. Las personas desposeídas y marginadas tendrían prioridad, por lo que para cualquier precarista sus posibilidades aumentarían, en particular si su ubicación lo hiciera vulnerable a un desastre natural. Esta condición sería incluso utilizada como medida de presión hacia las autoridades. En la Tabla V se describen las poblaciones y sus niveles de vulnerabilidad, según la posición que ocupan respecto al cauce del río Reventado y los diques de protección (Figs. 4 y 5) (Palacios y Saravia, 1988).

Debe considerarse también que el asentamiento de precaristas cuenta con servicios de electricidad y agua potable, no cuantificados dentro de los costos y que en caso de una catástrofe también serían perdidos. Adicionalmente, los precaristas constituyen una fuerza laboral de bajo costo, por lo que una situación de destrucción generaría un desajuste social y productivo.

Tabla V

Niveles de vulnerabilidad de los grupos de población de ocupantes en precario del área de los diques de Taras y del cauce del río Reventado (Referirse a la figura 5 para su ubicación)

Posición	Nivel de Vulnerab.	Viviendas #	Personas #	Costo Vivienda	Costo Muebles	S.Total (\$)
Cerca de Río	Ia. Maxima	45	270	31.445	16.500	47.945
Intra-Diques	Ib Elevada	240	1.440	167.705	71 000	238.705
Sobre Diques	Ic. Importante	447	2.642	312.350	178 000	490.350
Totales		732	4 352	\$511.500	\$ 265 000	\$777.000

Vulnerabilidad de la Población de Taras

El distrito de Taras se ubica en el sector noroeste de la ciudad de Cartago (Figs 4 y 5). Su nivel de amenaza es importante en el sector del borde externo de los diques de protección, en particular cerca de las brechas que se han abierto en ellos para el paso de las carreteras, ferrocarril, acueductos, etc. El grado de exposición y por lo tanto la vulnerabilidad disminuyen conforme la distancia aumenta hacia el noroeste y oeste.

No debe dejar de mencionarse la posibilidad, un tanto remota, de que un represamiento en el cauce del río Reventado, de gigantescas proporciones, haga que éste se desborde y comunique con el cauce del río Taras, generando una avalancha que afectaría directamente este sector geográfico y su población. Para clasificar los niveles de vulnerabilidad del sector de Taras, este se ha subdividido en cinco áreas, cada una con sus características propias (Fig. 4):

IIa. Desde el sitio del puente Bailey, se extiende hacia el sureste hasta su intersección con la línea férrea, formando una banda de alrededor de 100 m de ancho.

IIb. Entre la línea férrea y la carretera Cartago-San José. Se incluye un sector pequeño al oeste del puente de La Lima.

IIc. Esta área incluye el borde del dique occidental y la carretera Panamericana.

III. Franja paralela y a alrededor de 100 m del dique occidental.

IV. Corresponde con el flanco sur del Alto de Ochomogo.

En la Tabla VII se resume la información acerca del valor económico de las viviendas (2541), establecimientos comerciales (85), centros educativos (3), edificios de instituciones financieras (5), iglesias (3), edificios comunales (4) y la población afectable (10142 personas), en relación con su vulnerabilidad y los porcentajes relativos por cada sector (censos de 1984 y 1987).

Los Distritos Centrales de la Ciudad de Cartago

La ciudad de Cartago posee un grado de vulnerabilidad relativamente elevado, según el sector que se considere. En efecto y como ya fue mencionado, esta ciudad se ha desarrollado sobre

Tabla VII

Distribución del valor económico por sector, de acuerdo con los grados de exposición de la infraestructura y población, distrito de Taras

Area	Población		Valor Económico		Grado de exposición
	%	#	%	\$	
IIa.	6,0	608	7,8	2.337.972	Importante
IIb.	17,5	1.175	12,3	3.686.802	Importante
IIc.	25,0	2.536	29,3	8.782.382	Considerable
III	29,5	2.992	20,1	9.142.070	Moderado
IV	22,0	2.231	20,1	6.024.774	Bajo
Total	100,0	10.142	100,0	29.974.000	

un abanico coluvio-aluvial de tipo lahárico del piedemonte del macizo del volcán Irazú, formado por una sucesión de avalanchas históricas y prehistóricas, de las cuales la más reciente es la de Taras de 1963. En las figuras 4 y 5 se presenta una zonificación relativa al cauce del río Reventado y de la posibilidad de que una avalancha supere los diques de protección e invada la ciudad. Los sectores expuestos, son los siguientes:

- IIa. Cubre el barrio El Carmen, Murillo, Cinco Esquinas y el borde del dique Oriental.
- IIb. Prácticamente todo el sector central de Cartago hasta el borde del dique Oriental, aguas abajo del puente La Lima.
- IIc. El barrio Guadalupe, al sur del sector anterior.
- IIIa. Entre el sector de San Rafael, Turbina y la cuenca baja del río Toyogres.
- IIIb. Cubre prácticamente todo el sector sur de la ciudad de Cartago y el cantón del Tejar en los sectores cercanos al cauce del río Reventado.

Según Solís y Sequeira (1988) la población de Cartago luego del censo de 1984, tenía alrededor de 61.500 habitantes y 12.350 viviendas, distribuidas sobre una extensión de 1062,7 ha. No fue posible, por falta de disponibilidad de información, compilar la información relacionada con el valor de los edificios comerciales y públicos.

A partir de la zonificación anterior, la distribución porcentual, el número de viviendas y su valor económico, se muestran en las Tablas VIII y

IX. Se incluye una estimación adicional para el caso de daño parcial de las viviendas, considerando un evento de gran envergadura y elevado potencial destructivo.

En cuanto al costo económico y distribución de la población, la Tabla IX muestra las estimaciones realizadas. Para ello, se han considerado costos promedio por vivienda de \$ 13.000/concreto, \$ 8.800/madera, \$ 9.550/mixto, \$ 6.600/metal, \$ 6.000/adobe (estimaciones según costos calculados por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, en Solís y Sequeira, 1988).

El Parque Industrial de Cartago

El Parque Industrial de Cartago tiene una extensión de 52ha. Su capacidad para techos industriales es de alrededor de 225.000m², de los cuales cerca de 102.000m² habían sido desarrollados, alojando cerca de 40 empresas hasta 1990. Su nivel de vulnerabilidad corresponde con la zona IIIb, o sea de moderada a mediana y se vería afectada solo en caso de un evento de gran magnitud. Se asume por ello en el análisis que el monto de los daños alcanzará solamente cerca del 30% del valor total. Para un evento de mediana magnitud, se asume un alcance del 8% de daños y de 0 cuando el evento es de moderada a leve magnitud. Para el caso de mayor envergadura, se ha considerado una interrupción parcial de actividades durante 30 días laborables.

Tabla VIII

Estimación de los daños en las viviendas de la de Cartago, según el nivel de vulnerabilidad del sector en donde se encuentran (costos en US \$)

Tipo Construcción	Sector IIa:	Sector IIb:	Sector IIc:	Sector IIIa:	Sector IIIb:	Total
Concreto	: D.T. : (90%)	1163: (40%)	718 : (15%)	115 : (10%)	148 : (8%)	58 : 2202
	: D.P. : (10%)	129: (20%)	359 : (15%)	115 : (5%)	74 : (6%)	44 : 721
Madera	: D.T. : (90%)	747: (70%)	372 : (10%)	55 : (10%)	37 : (10%)	33 : 1244
	: D.P. : (10%)	83: (20%)	106 : (20%)	111 : (20%)	74 : (15%)	50 : 424
Mixto	: D.T. : (100)	330. (70%)	334 : (10%)	16 : (10%)	28 : (*)	14 : 722
	: D.P. :	: (20%)	95 : (20%)	47 : (30%)	84 : (8%)	14 : 240
Metal	: D.T. : (90%)	201 : (80%)	145 : (40%)	25 : (10%)	13 : (10%)	16 : 400
	: D.P. : (10%)	22 : (20%)	36 : (40%)	25 : (30%)	39 : (10%)	16 : 138
Adobe	: D.T. : (100%)	11 : (100%)	73 : (100%)	20 : (80%)	20 : (50%)	11 : 135
	: D.P. :	:	:	: (10%)	3: (20%)	5 : 8
Total	: D.T. :	2456	1642:	231:	544 :	132 : 5005
	: D.P. :	234:	596:	298:	274 :	129 : 1531

Nota: DT: Daño total. DP: Daño parcial en la vivienda (menos del 50%).

Tabla IX

Estimación de los costos generales de las viviendas por sector de vulnerabilidad específica y distribución de la población (Valor en \$)

Sector	Población	# Viviendas (todo tipo)	Valor en \$ caso leve	caso mediano	destr. total
IIa.	15.000	3 080	3.173.306	5 077.290	12.693.225
IIb.	18.750	2 223	3934.890	6 295.840	15.739.599
IIc.	14.250	3.101	2.411 712	3.858.740	9.646.851
IIa.	13.500	2.594	2.030.916	3.249.466	8.123.664
IIb.	13.498	1.606	1.142.390	1.827.824	4.569.561
Total	74.998	\$ 12 612	\$12.705.826	\$ 20.309.160	\$ 50.772.900

Debe tomarse en cuenta que en el Parque laboran cerca de 5.000 personas, incluyendo personal calificado y semicalificado, en su gran mayoría residentes en Cartago. En el caso de una paralización parcial de actividades de alrededor del 30% de las empresas (e.g. 12) se podrían perder alrededor de 600 empleos, es decir, alrededor de \$ 120.000/mes en salarios. Por otra parte, las empresas de servicios públicos dejarían de percibir los ingresos por conceptos de agua, electricidad, teléfono, etc.; esto asciende a alrededor de \$ 400.000/mes. De la misma manera, las empresas de transporte perderían alrededor de \$ 5.000/mes.

El valor total de toda la infraestructura, productos, servicios, etc. presentes en la actualidad dentro del Parque, se estima en alrededor de \$30.000.000 (Bustamente y Morales, 1988). La Tabla X resume la información de los daños posibles a generarse en cuanto a edificaciones, equipo, materia prima en almacén, productos acabados y el impacto sobre las exportaciones y salarios. Todo esto considera que los eventos pueden causar un impacto del 8% y 30% respectivamente, del total de los valores presentes en el caso de un evento de mediana y gran magnitud.

Aceleración de la sedimentación precoz del Embalse de Cachí

La planta hidroeléctrica de Cachí aprovecha un caudal promedio de 52,5 m³/s del río Reventazón y tiene una capacidad instalada de 110 Mw/h. Su generación anual es de 567 Gw/h en promedio. El embalse cubre una extensión de 324 ha y tiene un volumen útil de 54 millones de metros cúbicos, de los cuales cerca de 5 millones han sido ocupados por sedimentos. Se estima que el embalse ha perdido cerca de 11% de la capacidad útil de almacenamiento (Depto. de Estudios Básicos, ICE, 1989). Uno de los mayores aportes de sedimentos lo provoca el río Reventado, con cerca de 2.800 ton/año.

En caso de ocurrir una avalancha importante, por ejemplo con la reactivación violenta del deslizamiento de San Blás y suponiendo que se movilice una masa de aproximadamente el 50% de su volumen, es decir, cerca de 25 millones de metros cúbicos, se calcula que a corto plazo, entre el momento de ocurrida la avalancha principal y transcurrida una semana, habrá alcanzado el embalse alrededor del 30% del sedimento generado (7.500.000m³). El resto se habrá depositado

Tabla X

Daños posibles a generarse en el sector del Parque Industrial de Cartago en los casos de eventos de mediana (8%) y gran (30%) magnitud

Edificaciones (\$102/m ²)	:	\$ 832.267	:	\$ 3.21.200
Maquinaria. Equipo	:	\$ 720.000	:	\$ 2.700.000
Materia prima	:	\$ 160.000	:	\$ 600.000
Productos terminados almac.	:	\$ 80.000	:	\$ 300.000
Exportaciones (1 mes)	:	\$ 240.000	:	\$ 900.000
Salarios (1 mes)	:	\$ 80.000	:	\$ 300.000
Totales	:	\$ 2.112.267	:	\$ 7.921.200

Tabla XI

Costos de las pérdidas ocasionadas por los posibles daños generados en la Planta Hidroeléctrica de Cachí

Tipo de daño	: Evento Pequeño (20%)	: Evento Mediano (50%)	: Evento Importante (100%)
Generación	: \$ 480 000	: \$ 1.200.000	: \$ 2.400 000
Limpieza del embalse	: \$ 190 000	: \$ 475.000	: 950 000
Totales	: \$ 670.000	: \$ 1 675 000	: \$ 4.020.000

en el área entre los diques de Taras y en las terrazas aluviales de los ríos Reventado, Aguacaliente y Navarro. A largo plazo, el monto de sedimentos que alcance el embalse puede ser del 75% (18.750.000m³).

Suponiendo que con una operación eficiente de la descarga de fondo y de las labores de limpieza rutinarias, se pueda alcanzar eliminar el 50% del sedimento arrivato al embalse. Quedarían sin embargo cerca de 9 millones de metros cúbicos depositados. Esto significa, junto con los otros 5 millones ya existentes, que habría casi 14 millones dentro del embalse, correspondiente con el 24% de su capacidad útil lo que comprometería severamente la vida útil de la obra.

Los daños que una situación como la anterior ocasionaría, se mencionan a continuación:

Primeramente, se produciría una salida de operación de la planta por cerca de 30 días, lo que en promedio significa una pérdida de 50 Gw/h de generación. En invierno se dejarían de generar cerca de 2,3 Gw/h/día, lo que a razón de \$ 0,04/kw/h daría un total de \$ 95.000/día. La salida de operación por 30 días ocasionaría en total una pérdida de \$3 millones aproximadamente.

Por otra parte, la sustitución de la producción energética sería realizada por medio de la operación de plantas diesel, es decir, una pérdida directa de divisas para el país. Se estima que para generar 1 Gw/h se requiere de 260.000 litros de diesel, o sea cerca de 600.000 litros de diesel/día y así sustituir la producción de Cachí. A razón de \$0,30/l se consumirían \$180.00/día, o sea \$5 400.000/30 días. Para el consumidor, la diferencia de costos, que ciertamente será él quien la cubra (e.g. factor térmico), sería de aproximadamente \$ 2.400.000. Una alternativa sería la importación de energía de países vecinos, pero esta posibilidad es más difícil de evaluar, dadas las fluctuaciones del precio del Kw/h en el mercado centroamericano y de la misma disponibilidad de energía.

Un costo que debe agregarse es el de la limpieza del embalse, el cual se ha calculado con base a 40.000 horas de tractores tipo D6 a \$ 20/h, más \$ 150.000 adicionales de gastos indirectos, lo cual suma \$ 950.000.

En resumen, los daños directos que ocasionaría la salida de operación de la planta, aparecen en la Tabla XI. Nótese que no han sido incluidos los costos de los daños que puedan haber ocurrido a nivel de la estructura de la presa, túneles y turbinas (Orellana y Avalos, 1988).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo de este trabajo ha sido posible reconocer, al menos en su orden de magnitud, la cuantía de los posibles daños que generaría una avalancha de lodo sobre la ciudad de Cartago, su población, infraestructura, líneas vitales y actividades productivas aledañas.

La cuantificación realizada obviamente adolece de la precisión necesaria como para que sea considerada como exhaustiva, pues no fue posible tener acceso a gran cantidad de información importante, al ser considerada confidencial por individuos, empresas e instituciones, o simplemente porque no existe del todo. Sin embargo, el esfuerzo realizado sienta por lo menos un precedente que puede servir de base para llamar la atención de particulares y en especial de los dirigentes políticos, los cuales de ahora en adelante NO podrán aducir ignorancia, en el momento de enfrentarse a una catástrofe.

Es claro que en términos generales y promedios, al menos hasta donde el conocimiento que de la situación permite evaluar, la vulnerabilidad de la ciudad de Cartago es importante, puesto que como lo ha demostrado la historia (reciente y actual) y la prehistoria (Cuaternario), las avalanchas son los fenómenos que se han manifestado con mayor frecuencia que cualquier otro tipo de

fenómeno natural destructivo. Sin embargo, es claro y considerando a los otros fenómenos (sismicidad, volcanismo y lluvias de elevada intensidad), con su acción separada o conjunta y con las consecuencias que puedan generar, deberían ser suficiente motivo para que las autoridades competentes locales y nacionales tomen las previsiones necesarias para que su manifestación no sea necesariamente una catástrofe de dimensiones incalculables. Es mucho lo que a un costo relativamente bajo (dados los beneficios que traería), puede hacerse para mitigar los daños de estos fenómenos que se manifestarán tarde o temprano, pero de seguro.

Cabe destacar el hecho de que en muchos casos, la capacidad protectora de los diques ha sido sobreestimada. Estos nunca han sido puestos a prueba, además que su diseño es cuestionable y que es innegable que están deteriorados por la acción de la naturaleza (28 años) y de los precaristas que los han socavado para utilizar y vender sus componentes como materiales para la construcción.

Las tablas siguientes resumen los alcances de esta investigación. Se basan en datos de población, costos directos a nivel local y no incluyen los indirectos, secundarios, ni aquellos ocasionados adicionalmente a la economía nacional, como por ejemplo, su impacto sobre el Producto Nacional Bruto. Nótese que también se ha supuesto que los daños ocasionados a las líneas de transmisión eléctrica de alta tensión son arreglables sin necesidad de reubicarlas totalmente. No fue posible incluir los costos de reposición de las tuberías afectables del acueducto de Cartago por no disponer de datos confiables ni los valores y costos de los edificios

públicos y comerciales del centro de Cartago, por carecer de los datos necesarios.

Se puede desprender que la mayor cantidad de daños, en términos de costos, se presentará en el sector vivienda de la ciudad de Cartago, en el cual, del total general alcanzaría más del 50%. Esta situación es muy significativa, por cuanto si se le agregan los costos estimados correspondientes al distrito de Taras, se obtiene un porcentaje total de casi 82%. Es pues el sector de vivienda urbana el que absorbería el impacto más importante.

En cuanto al número de habitantes bajo amenaza según la magnitud del evento, la Tabla XII muestra las estimaciones, siendo claro de nuevo que es el asentamiento de precaristas (diques) el grupo más vulnerable, seguido por los barrios cercanos a los diques, tanto del distrito de Taras como de la ciudad de Cartago.

No está suponiéndose que estas cantidades de personas serán contabilizadas necesariamente como muertas, al menos es de esperar!, pues se supone que las medidas de acción, respuesta, mitigación y prevención harán de esto una tarea innecesaria...

Tabla XII

Estimación de la población afectable según la magnitud del evento

Magnitud del evento	#	Personas afectadas	%
Pequeño	16.070		21,4
Mediano	55.229		73,6
Grande	71.663		95,6

Tabla XIII

Resumen de los daños que podrían ocasionarse, en el caso de una avalancha de dimensiones pequeñas, medianas y grandes

Obras o sector	Evento pequeño miles de \$	Evento mediano miles de \$ US	Evento grande miles de \$ US	%
Puentes viales	539	1.078	2.695	2,70
Oleoducto	263	1.078	1.150	1,05
Línea y puente				
Ferrovías	60	393	1.110	1,10
Acueducto Oroen	182	779	1.548	1,50
Líneas transm.				
Elec. Alta tensión	16	27	65	0,06
Asentam. Precar.				
Muebles y viv.	48	239	490	0,50
Distrito Taras	2.338	14.807	29.974	30,40
Cantón Cartago				
(en Taras)	12.706	20.309	50.773	51,50
Parque Industrial	-	2.112	7.921	8,00
Plana H. Cachi	670	1.675	4.020	4,00
TOTALES	16.872	41.696	98.736	98,96

BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, G. & Boschini, L., 1988: Evaluación Preliminar de las Amenazas Geológicas y Períodos de Recurrencia en el Valle del Guarco, Cartago. - IV Seminario Nacional de Geotecnia. 15 págs.
- Bustamente, M. & Morales, A., 1988. Análisis de la Componente del Parque Industrial de Cartago. Caso del Deslizamiento de San Blás. - Curso OEA-ICAP. Informe inédito, 12 págs.
- Departamento de Estudios Básicos, I.C.E., 1989: Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Reventado. - Dirección de Planificación Eléctrica, Instituto Costarricense de Electricidad. 122págs.
- Estrada, A., 1986: Análisis Geológico-Geotécnico del Deslizamiento de San Blás, Cartago, Costa Rica. - 121 págs. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica (título inédito).
- García, G. & Reyes, E., 1988: Vulnerabilidad de la Línea y Puente Ferroviarios. Caso del Deslizamiento de San Blás. - Curso OEA-ICAP. Informe inédito, 22 págs.
- Hernández, R. & Montalván, D., 1988: Impacto sobre los Puentes y Carreteras. Caso del Deslizamiento de San Blás. - Curso OEA-ICAP. Informe inédito, 17 págs.
- Lezama, G. & Mora, S., 1983: Análisis de Estabilidad de los Bastiones del Puente del Oleoducto de RECOPE sobre el Río Reventado. - Refinadora Costarricense de Petróleo. Informe inédito, 34 págs.
- Martínez, 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. Informe inédito, 16págs.
- Mora, M.; Rosales, R. & Mejía, F., 1988: Plan de Acción y Respuesta en Caso de Emergencia por el Deslizamiento de San Blás - Curso OEA-ICAP. Informe inédito, 22 págs.
- Mora, S., 1985: Las laderas inestables de Costa Rica. - Rev. Geol. América Central, 3. 131-161.
- Mora, S.; Delgado, J. & Estrada, A., 1985: Análisis Geotécnico del Deslizamiento de San Blás, Río Reventado, Cartago, Costa Rica. - Primer Simposio Latinoamericano de Desastres Naturales. Com. Ecuatoriano de Ing. Geológica-Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. 12 págs.
- Mora, S., 1989: Extent and Social-Economic Significance of Slope Instability in Costa Rica. - XXVIII International Geological Congress, Washington, D.C. Julio 9-19.
- Morris, D. & Vázquez, R., 1988: Estudio de la Componente de la Población de Taras. Caso del Deslizamiento de San Blás. - Curso OEA-ICAP. Informe inédito, 13 págs.
- Palacios, M. & Saravia, D., 1988: Cuantificación de los Daños Económicos y Sociales en los Asentamientos en Precario, ante la Incidencia de los Fenómenos Naturales. - Curso OEA-ICAP. Informe inédito, 21 págs.
- Orellana, E. & Avalos, H., 1988: Evaluación del Impacto de los Posibles Daños del Deslizamiento de San Blás sobre la Planta Hidroeléctrica de Cachí - Curso OEA-ICAP. Informe inédito, 23 págs.
- Prudott, A. & Cuevas, J., 1988: Vulnerabilidad de los Acueductos de Cartago y San José. - Curso OEA-ICAP. Informe inédito, 14 págs.
- Rivas, S. & Martínez, R., 1988: El Deslizamiento de San Blás y sus Efectos sobre el Oleoducto Interoceánico de RECOPE. - Curso OEA-ICAP. Informe inédito, 17 págs.
- Solís, L. & Sequeira, O., 1988: Análisis de los Posibles Daños a las Viviendas de la Ciudad de Cartago por el Deslizamiento de San Blás. - Curso OEA-ICAP. Informe inédito, 19 págs.

Agradecimiento:

Se agradece la colaboración de los estudiantes de la promoción 1988 y del personal docente del Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP).