

de esos esfuerzos han sido una población más consciente del peligro al que se enfrenta y una positiva respuesta general a las llamadas precautorias.

### Instituciones

Durante el Decenio fue establecida la Oficina de Respuestas de Emergencia ante Desastres del Caribe por los países miembros de la Comunidad del Caribe, para ofrecer ayuda inmediata a las islas que hubieran sido dañadas por los huracanes. La Oficina también coordina las actividades de los coordinadores y de los gestores de protección civil de las islas y se involucra en ejercicios anuales de respuesta a desastres que implican al sector militar y a otras instituciones pertinentes. Dichos ejercicios están concebidos para asegurar que los mecanismos de respuesta a desastres funcionan satisfactoriamente. Otra importante función de esta Oficina es la coordinación de los programas de ayuda de las instituciones financiadoras tras un desastre. Todos estos esfuerzos conllevan una respuesta más organizada tras el ataque de un huracán.

La OMM ha creado un Comité de Huracanes en la Asociación Regional IV (América del Norte y América Central) formado por los directores de los Servicios Meteorológicos Nacionales de la Región ba-

jo la presidencia del director del Centro Nacional de Huracanes de Miami. El Comité se reúne anualmente para actualizar sus planes operativos y técnicos y para estudiar la estación de huracanes anterior. El Decenio contempló un considerable perfeccionamiento de los planes, y los Servicios Meteorológicos de la región del Caribe poseen ahora un plan de acción bien definido para la emisión de avisos, y una mejor interacción interna y con el Centro Nacional de Huracanes. Un importante aspecto del plan operativo es la especificación de áreas de responsabilidad para algunas oficinas, en el supuesto de que otras sean utilizadas durante el ataque de un huracán, y para los medios de comunicar la información a la población.

En general, el Decenio ha contemplado muchas mejoras en los sistemas de aviso de la región y una elevación del nivel de concienciación ante los peligros representados por los huracanes y ante la necesidad de acciones precautorias para salvar vidas y reducir los daños. Ello se ha logrado mediante procesos educativos y con la experiencia obtenida tras el paso de huracanes a través de la zona. Se espera que, al adentrarnos en el nuevo milenio, se den continuas mejoras mediante el empleo de nuevas tecnologías y una mano de obra mejor formada. □

## ASPECTOS HIDROLÓGICOS DE LOS CICLONES TROPICALES

Por Rishi RAJ\*

### Los ciclones tropicales

Ciclones tropicales, tifones y huracanes son los diversos nombres que en distintas partes del mundo se le dan a un mismo fenómeno meteorológico. Son sistemas meteorológicos con vientos fuertes que circulan alrededor de una zona de bajas presiones, en el sentido contrario a las agujas del reloj en el hemisferio norte y en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio sur. Los ciclones tropicales suelen producir precipitaciones intensas que a veces provocan fuertes mareas de temporal e inundaciones en las zonas costeras.

Los ciclones tropicales se forman cerca del Ecuador, zona en la que las temperaturas de la super-

ficie del mar superan los 26°C. El mar cálido aporta de forma continua energía y humedad a la atmósfera que está sobre él; en principio esto sirve para que se genere el sistema meteorológico, y posteriormente para que éste mantenga su potencia destructora mientras avanza. La zona más favorable para que se formen ciclones tropicales es alrededor de los 10° de latitud. Un ciclón tropical, mientras se forma y se intensifica, encima de mares cálidos, acopia aire húmedo y cálido y va adquiriendo mayor cantidad de movimiento. Una vez que en el centro de su espiral se ha desarrollado un ojo (una zona de vientos suaves y de cielos despejados), el ciclón crece más lentamente. El ojo está rodeado por una pared de vientos fuertes y de lluvias torrenciales, que acapara el 80% de la energía total del sistema (McDavitt, 1997). En la pared del ojo se asocian las fuerzas centrífuga y

\* Hidrólogo Jefe, Departamento de Obras Públicas, Fiji

centrípeta, por lo que los vientos pueden alcanzar fuerza huracanada. El ojo suele medir de 10 a 30 km de diámetro, pero en su parte alta puede llegar a 100 km o más.

Un ciclón tropical se debilita: o bien cuando se interrumpe su suministro de energía y de humedad, o bien cuando cruza la costa y se desplaza tierra adentro, o bien cuando sale de la zona tropical y encuentra agua marina fría de 26°C. La vida de un ciclón tropical, desde su génesis hasta que se desintegra puede durar desde unos días hasta unas semanas.

Incluso en la fase de desintegración de un ciclón tropical, los vientos muy húmedos que giran en su periferia pueden llegar a tierra firme y generar precipitaciones intensas e inundaciones graves. Las pérdidas y daños económicos pueden ser especialmente cuantiosos cuando a los vientos destructores de un ciclón les siguen inundaciones.

### **Influencia de los ciclones tropicales en el ciclo hidrológico**

Los ciclones tropicales tienen una enorme cantidad de energía, y se les ha calificado como la válvula de seguridad del sistema de calefacción de la Tierra, porque evitan que ésta se caliente en exceso. La energía de los ciclones tropicales acelera o intensifica varios procesos del ciclo hidrológico.

Los vientos de los ciclones transportan humedad y pueden producir ascensos orográficos rápidos de aire cargado de humedad por encima de un terreno montañoso o donde se produzca convergencia de vientos. Esto puede originar lluvias muy intensas y a menudo prolongadas. En Fiji, los Estados Federados de Micronesia, Nueva Zelanda, Vanuatu, Samoa, las Islas Salomón, Tuvalu y las Filipinas, las peores inundaciones han estado asociadas a tifones o a ciclones tropicales. Las inundaciones pueden ser muy graves si concurren simultáneamente varios efectos, como se discutirá más adelante.

Los factores principales que intensifican a algunos componentes del ciclo hidrológico son:

#### ***El aumento de la evaporación por:***

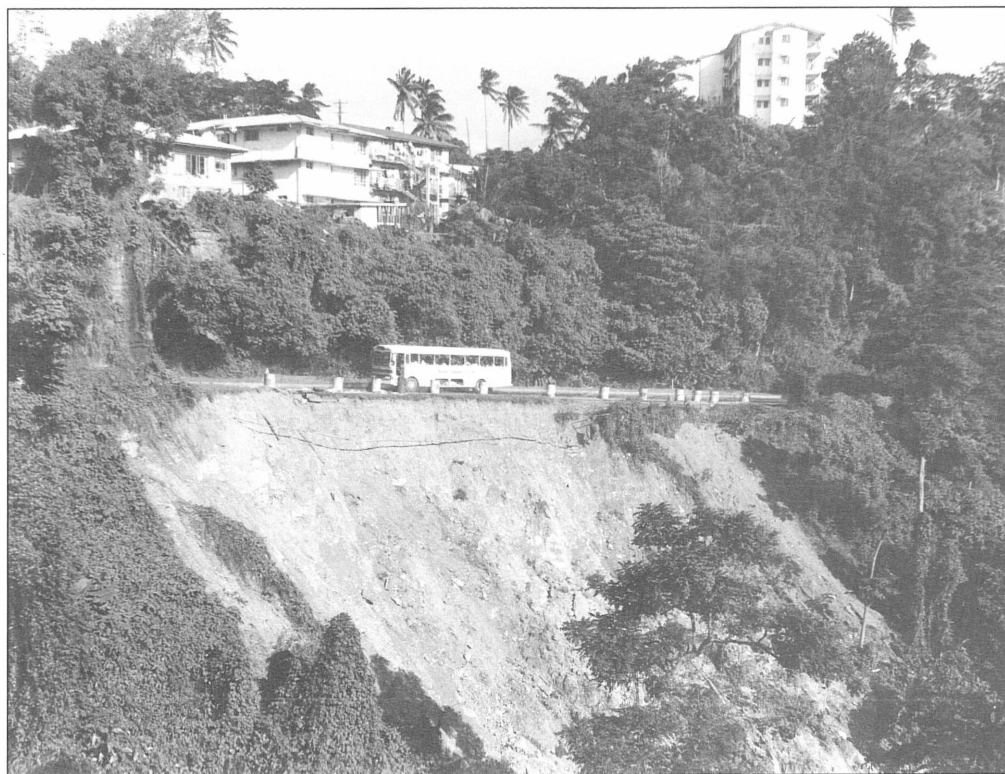
- agua del mar bastante cálida, por lo que para evaporarse necesita menos energía;
- vientos fuertes y persistentes que eliminan la humedad, transportándola a otros lugares;
- mares de viento y de fondo que generan rocciones de agua marina, por lo que hay un aporte constante de humedad.

#### ***Lluvias muy intensas y a veces prolongadas, por:***

- convergencia de vientos a mesoescala con rozamientos fuertes;
- convergencia a escala sinóptica con fuerte aceleración, por una gran diferencia de presión entre dos puntos de un terreno montañoso, la cual aumenta además con rapidez. Esto puede ocasionar rápidamente lluvias durante el paso de un ciclón tropical;
- ascensos rápidos de vientos cargados de humedad por encima de un terreno montañoso (ascensos orográficos);
- un ciclón estacionario o que se mueva lentamente, el cual mantiene el aporte de humedad procedente de una misma dirección durante períodos prolongados.

#### ***Escorrentía rápida que provoca inundaciones muy graves por:***

- el inicio gradual de la lluvia mientras el ciclón tropical está todavía lejos de tierra firme (a veces a cientos de kilómetros), la cual satura las cuencas vertientes;
- lluvia por lo común persistente y de intensidad creciente a medida que se acerca el ojo de un ciclón tropical. Esto permite que toda la cuenca contribuya a la escorrentía superficial;
- lluvia de intensidad creciente a medida que el ojo de un ciclón tropical llega a la costa o se desplaza en tierra y el ascenso orográfico aumenta la intensidad de la lluvia;
- lluvia intensa cuando un ciclón tropical queda estacionario o se mueve lentamente, sobre todo cerca de la costa;
- los vientos iniciales causan daños a la vegetación por defoliación, la cual reduce la interceptación y aumenta la escorrentía del agua sobrante de la infiltración;
- vientos fuertes contra las costas y de sentido contrario a la corriente de un río, que frenan las riadas e incluso pueden llevar río arriba las aguas de las avenidas;
- mareas más altas de lo normal generadas por pequeñas diferencias de presión atmosférica, que frenan la descarga del agua de los ríos en su desembocadura;
- paso del ojo del ciclón tropical cerca de la costa o sobre tierra firme, produciendo mareas de temporal e inundaciones costeras y que posteriormente pueden aumentar la altura de las inundaciones tierra adentro.



Corrimiento de tierra en el Paseo Edimburgo, de Suva, Fiji, como consecuencia del ciclón tropical *Gavin*

Fotografía: Ministerio de Información, Radiodifusión, Televisión y Telecomunicaciones de Fiji

## Efectos de las inundaciones causadas por los ciclones tropicales

Las inundaciones son caudales excesivos de agua, o acumulaciones de ésta, como resultado de:

- Lluvias intensas y abundante escorrentía superficial;
- mareas altas con influencia astronómica;
- inundaciones por mareas de temporal asociadas con el paso de un sistema de bajas presiones;
- otras causas, como que reviente una presa o que se rompa un dique.

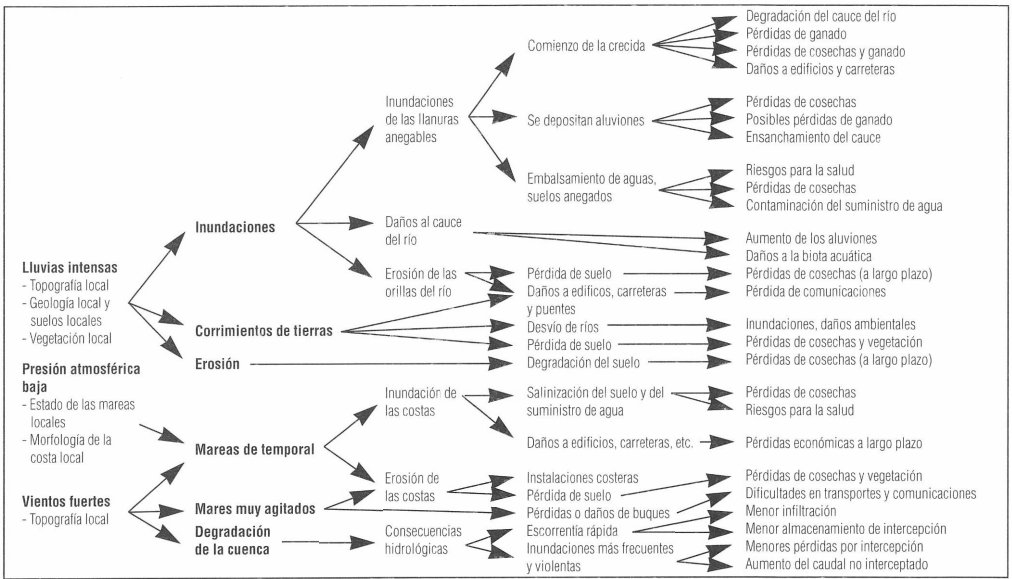
Las inundaciones repentinas son crecidas y descensos rápidos del caudal de un curso de agua, causados por la lluvia o por una escorrentía que desciende con rapidez desde zonas montañosas.

Los ciclones tropicales generan lluvia de gran intensidad y duración que puede ocasionar erosión, corrimientos de tierras e inundaciones graves (véanse las figuras). En el cuadro I se ofrece la vulnerabilidad de algunos de los países del sudoeste del Pacífico a los ciclones tropicales, a la erosión del suelo, a las riadas, a las inundaciones costeras (incluyendo las mareas de temporal) y a los corrimientos de tierras.

## Erosión del suelo

Las gotas de lluvia que llegan con fuerza al suelo mueven a las partículas de tierra, las cuales son llevadas por la escorrentía superficial a las corrientes de agua. Los vientos ciclónicos pueden dañar la cubierta protectora que es la vegetación, o por defoliación o arrancándola de raíz. Los corrimientos de tierra provocados por los temporales de lluvia exponen al suelo a una erosión aún más grave. El material erosionado, junto con la rocalla, llega finalmente como sedimentos a los cursos de agua. Si la erosión es muy fuerte, en el cauce del río hay más sedimentos de los que éste puede transportar. Algunos de los materiales erosionados se depositan como aluviones. Como consecuencia, el lecho del río comienza a estar más alto, y se reduce la capacidad del cauce para llevar crecidas, por lo que las inundaciones se hacen más frecuentes, incluso con temporales de lluvia menos intensos.

En Fiji, se dragan algunos ríos para aumentar su posible caudal y mitigar los efectos adversos de las riadas violentas. En Nueva Zelanda, los científicos predicen que para el año 2030 los aluviones habrán hecho subir tanto el lecho del río Waipaoa que los diques de contención que protegen a las planicies de la bahía



Aspectos hidrológicos de los ciclones tropicales

de la Pobreza (Ilanuras de Gisborne) y a la ciudad de Gisborne no podrán seguir conteniendo las crecidas para las que fueron diseñados (MacBean, 1988).

Las grandes cantidades de sedimentos que se vierten en el mar son una amenaza para las vidas costera y marina. El agua más turbia puede dañar a los arrecifes coralinos, que son una barrera protectora frente a la acción de las olas y de las mareas de temporal. Los arrecifes son el hábitat de muchas especies marinas y pueden estar en peligro porque las grandes cantidades de sedimentos los desgastan. Por ejemplo, el ciclón tropical *Namu* (1988) produjo erosión, corrimientos de tierras e inundaciones graves en las Islas Salomón. En las zonas costeras de Guadalcanal se depositaron gran cantidad de sedimentos.

### Corrimientos de tierras

Las pendientes escarpadas compuestas por suelos friables o por cenizas volcánicas son muy susceptibles a los corrimientos de tierras, porque cuando las lluvias de los ciclones son muy intensas se empapan y ofrecen poca resistencia a la cizalladura. Fiji, los Estados Federados de Micronesia, las Islas Salomón, Vanuatu, Samoa, Papúa Nueva Guinea, Nueva Zelanda y las Filipinas son particularmente propensos a los corrimientos de tierras provocados por los temporales ciclónicos o tifónicos. Los distintos niveles de amenaza que los corrimientos de tierras suponen para los países de la región (cuadro I) indican que las islas volcánicas altas son las más vulnerables.

En Fiji, la lluvia de los ciclones tropicales ha

provocado muchos corrimientos de tierras, en los que ha habido muertos. El *Kina* (1993) y el *Gavin* (1997) ocasionaron corrimientos de tierras que se cobraron varias vidas, destruyeron completamente casas y otros edificios, causaron graves daños a las carreteras y arrastraron puentes. En las Islas Salomón las lluvias ciclónicas intensas han provocado muchos corrimientos de tierras. El *Namu* (1988) ocasionó corrimientos de tierras que fueron responsables de la muerte de 38 de las 49 víctimas habidas en el pueblo de Valebaibai, en la provincia de Guadalcanal. Por su topografía, Papúa Nueva Guinea es especialmente vulnerable a los corrimientos de tierras. Durante un ciclón tropical en 1990 en Samoa, las lluvias intensas provocaron varios corrimientos de tierras que bloquearon carreteras y arrastraron un puente. La entrada de agua en los depósitos de abastecimiento de aguas a Apia se obtura con frecuencia con las piedras procedentes de los desprendimientos de tierra. En Nueva Zelanda, el ciclón tropical *Bola* (1988) causó muchos corrimientos y desprendimientos de tierra en la costa oriental de la Isla Norte. La ciudad de Gisborne sólo tenía acceso por helicóptero. Varios tramos de las tuberías del abastecimiento de aguas sufrieron las avenidas, así como golpes y roturas por hundimientos. Pohnpei, en los Estados Federados de Micronesia, tuvo extensas inundaciones y grandes corrimientos de tierras durante el ciclón tropical *Isa*, en abril de 1997. En las aldeas de Iohl y Oumar, de la municipalidad de Sokehs, hubo 7 muertos y 12 desaparecidos.

**Nivel estimado de vulnerabilidad\* a los ciclones tropicales y a los peligros asociados a ellos**

(tomado de Reducción de los Desastres Naturales en los Estados Insulares del Pacífico, informe de la Conferencia Mundial sobre Reducción de los Desastres Naturales, 1994)

Nación	Ciclones tropicales	Erosión del suelo	Inundación costera	Riada	Corrimientos de tierras
Cook, Islas	M	M	M	M	B
Fiji	A	A	A	A	A
Kiribati	B	-	A	-	B
Marshall, Islas	M	-	B	-	B
Micronesia, Estados Federados de	M	M	A	B	B
Niue	M	-	B	-	B
Palau	M	-	M	-	B
Papúa Nueva Guinea	B	A	A	A	A
Samoa	M	A	A	A	A
Salomón, Islas	A	A	A	A	A
Tokelau	M	-	A	-	B
Tonga	A	M	M	M	B
Tuvalu	B	-	A	-	B
Vanuatu	A	A	A	A	A

\*Clasificación de riesgos: B=bajo; M=medio; A=alto.

### **Mareas de temporal (inundaciones marinas)**

Los ciclones tropicales son la causa principal de las mareas de temporal en la región del sudoeste del Pacífico. La marea de temporal es la elevación anormal del nivel del mar causada por la interacción del viento, del mar y de la tierra cuando un ciclón tropical se desplaza por encima de una plataforma continental. Casi todas las islas bajas que sufren ciclones tropicales son muy vulnerables a las mareas de temporal (cuadro I). El ciclón suministra la fuerza impulsora, al originar un gran gradiente horizontal de presión atmosférica y fuertes vientos en superficie. Como consecuencia, el nivel del mar sube a medida que el ciclón se desplaza por encima de aguas más someras y alcanza un máximo en la costa, cerca del punto de llegada a tierra. En cualquier lugar, el nivel de la marea de temporal depende de factores tales como:

- el descenso de la presión atmosférica;
- el radio de los vientos máximo del ciclón tropical y su velocidad;
- la dirección y la velocidad con que se mueve el ojo del ciclón tropical;
- el punto de llegada a tierra y la hora, en relación con las mareas locales;
- la forma de la línea costera cerca del punto de llegada a tierra;
- la profundidad y la pendiente del fondo marino.

Las mareas de temporal dañan los cultivos de ali-

mentos que se siembran en las zonas de suelo fértil disponible a lo largo de la costa, que a veces son escasas. También contaminan los suelos y pueden contaminar las aguas subterráneas. Los cultivos de raíces resisten muy mal los daños que causa el agua salada, y constituyen la dieta habitual de la mayoría de los habitantes de las islas del Pacífico. En muchas islas volcánicas altas, las zonas bajas aportan los únicos suelos fértiles para los cultivos, y éstos son muy vulnerables a los daños causados por las mareas de temporal. Por ejemplo, en la costa norte de la isla de Vanua Levu, en Fiji, el *Gavin* (1997) ocasionó unas mareas de temporal que sobrepasaron la mayoría de los rompeolas. Éstos habían sido construidos para evitar que durante las mareas altas entrase agua salada en las tierras de labor.

Las infraestructuras y complejos turísticos con inversiones intensivas de capital, como hoteles e instalaciones para deportes acuáticos, suelen estar en zonas costeras bajas o dentro de las aguas costeras, y son muy vulnerables a la acción de las olas, a las mareas de temporal y a los daños causados por los vientos. Durante el *Oscar* (1983), en Fiji se perdieron muchos barcos pequeños; otros sufrieron daños, al igual que muchas canoas y las instalaciones de los muelles. El agua salada dañó a los edificios y la mayoría de los hoteles e instalaciones de alojamiento de las islas más pequeñas expuestas al ciclón, como Trasure, Malolo y Beachcomber, tuvieron que cerrar o trabajar a capacidad reducida durante varios meses, mientras se realizaban las reparaciones y los trabajos de conservación.

Los arrecifes coralinos y los manglares actúan como barreras protectoras para reducir la altura de las mareas de temporal. Los manglares mitigan los efectos de la acción de las olas y evitan la erosión costera, pero los fuertes vientos ciclónicos pueden dañarlos. En las islas bajas, la acción de las olas puede causar numerosos daños a las obras de infraestructura, como carreteras, puentes y muelles. Durante el *Gavin*, en Fiji se erosionaron gravemente tramos de las carreteras costeras en las islas de Taveuni y Ovalau, con peligro para las redes eléctrica, de comunicaciones y de abastecimiento de agua. El *Kina* (1993) dañó la mayoría de los muelles en las islas más alejadas del archipiélago de Lau.

### **Erosión costera**

Muchos de los países de la región tienen el turismo como su fuente principal de ingresos y sus playas son una atracción importante. Las olas generadas por los fuertes vientos de los ciclones erosionan las playas y las costas. La espuma marina contamina los escasos suelos fértiles de la costa dedicados a cultivar alimentos, y daña al resto de la vegetación, así como a los edificios y a las instalaciones de deportes acuáticos. Una vez que la vegetación se daña, se agrava el proceso de erosión. El *Namu* (1988) provocó inundaciones y depositó una gruesa capa de aluviones en las zonas costeras de Gualdacanai, en las Islas Salomón. En la isla de Togatapu, en Tonga, el *Isaac* (1992) ocasionó enormes mareas de temporal, y espumas marinas cuya sal quemó los cultivos alimenticios y la vegetación de la costa.

La degradación costera y la pérdida de vida marina son también consecuencias de las grandes cantidades de sedimentos que los cursos de agua vierten durante las avenidas. Las riadas pueden llevar al mar los herbicidas, pesticidas y fertilizantes que se utilizan en las cuencas, y dañar la vida marina. Durante el *Wally* (1980), los daños que las avenidas causaron en las llanuras inundables y a lo largo de las riberas del río Navua llevaron a que el Departamento de Industrias Primarias de Fiji dragase el río para eliminar los depósitos sedimentarios.

### **Experiencias de algunos casos de ciclones tropicales en la Región**

En los Estados Federados de Micronesia el riesgo de inundaciones costeras es grande, pero el riesgo de ciclones tropicales es en general moderado. En abril de 1997, el *Isa* trajo lluvias intensas que provocaron extensas inundaciones y corrimientos de tierras sin precedentes en diversas partes de Pohnpei. Las aldeas de Iohl y de Oumar, en la municipalidad de Sokehs, su-

frieron importantes corrimientos de tierras; sólo en el pueblo de Iohl murieron 5 personas. En Sekera quedó sepultada una casa con sus ocho ocupantes. Se hospitalizó a muchos heridos, algunos en estado crítico. Las inundaciones y el lodo dificultaron las operaciones de rescate e impidieron que se desplazasen equipos pesados. Se ha descrito al *Isa* como el peor desastre que ha habido en Pohnpei.

Cada decenio la afectan a Fiji unos 15 ciclones tropicales, de los cuales al menos tres ocasionan daños graves por los vientos y por el agua. Las inundaciones son intensas y hay muchos cursos de agua cortos y con pendientes fuertes que hacen que sean muy rápidos. La predicción de avenidas sólo es posible para el río Rewa, pues es el único caso en el que se dispone de un margen de tiempo suficiente para preparar y difundir avisos. Los intensos temporales de lluvia provocan corrimientos de tierras que sepultan completamente las viviendas y causan muertes. Los daños que se producen en las propiedades públicas y privadas, en las obras de infraestructura y en el medio ambiente han llevado a formular estrategias de prevención y mitigación de desastres, con la esperanza de reducir tanto los efectos como la vulnerabilidad. Por ejemplo, el *Oscar* (1983), y el *Eric* y el *Nigel* (1985) causaron daños totales valorados en 123 millones de \$ EE.UU. (aproximadamente el 10% del PNB de Fiji en 1984). El *Kina* (1993) produjo daños estimados en 300 millones de \$ EE.UU. por las riadas que arrastraron tres puentes importantes y dañaron al 98% de los cultivos de la zona afectada. Hubo 23 muertos, principalmente por los corrimientos de tierras y ahogados, y miles de personas quedaron sin hogar. Las secuelas fueron que durante tres meses tuvieron que recibir raciones de comida 120 000 personas. Más del 30% de los fondos nacionales para el desarrollo tuvieron que desviarse a los trabajos urgentes de rehabilitación.

Aunque en Fiji no se siguen bien las mareas de temporal, se han registrado algunas muy dañinas. El *Bebe* en 1972, el *Oscar* en 1983, diversos ciclones tropicales en 1985, y el *Gavin* en marzo de 1997 generaron mareas de temporal de distintas gravedad. Los daños que éstas ocasionaron, como suele ocurrir, se limitaron a las carreteras y otras infraestructuras situadas en las costas, como los muelles, los malecones y los complejos turísticos. También resultaron dañados los rompeolas que protegían a los pueblos costeros de la acción de las olas.

A Nueva Zelanda le afectan con poca frecuencia ciclones de origen tropical que tengan energía suficiente y pasen bastante cerca de tierra como para producir daños. Cuando esto sucede, hay partes de Nueva Zelanda que sufren lluvias intensas prolongadas y

fuertes vientos atemporales. Uno de ellos fue el temporal *Wahine* (1968), al que se le puso ese nombre en recuerdo del barco de Wellington, con 50 víctimas mortales. El *Alison* (1977) y el *Bola* (1988) causaron inundaciones y corrimientos de tierras extensos y costosos en las costas orientales de las islas Sur y Norte. A finales de 1996, el *Fergus* descargó 400 mm de lluvia sobre la península de Coromandel, y a principios de enero de 1997 los vientos atemporales asociados al *Drena* azotaron Auckland durante seis horas, provocando inundaciones marinas más al sur (McDavitt, 1997).

La Administración de los Servicios Atmosférico, Geofísico y Astronómico de Filipinas ha estimado que el 47% de la lluvia media anual en toda la nación se debe a los tifones. Cerca del 80% del total de la lluvia anual en las zonas occidentales de Luzón se da durante los meses de julio a septiembre, período crítico tanto de la estación del monzón del sudoeste como de la temporada de los tifones. En Filipinas, las lluvias intensas provocan con frecuencia corrimientos de tierras. Las zonas más afectadas son las comarcas abruptas y montañosas. Las lluvias intensas debidas al tifón *Heling* (20 de agosto de 1990) causaron corrimientos de tierras en la zona de Nueva Vizcaya, que acababa de ser asolada por un terremoto el 16 de julio de 1990. El corrimiento de tierra que sepultó a los tres pueblos que hay entre Nueva Vizcaya y Nueva Ecija afectó a cientos de casas (Brown y otros, 1991). De entre el lodo y los cascotes se recuperaron 85 cadáveres.

Son muchos tifones y su irregular línea costera hacen a las Filipinas especialmente susceptible a las mareas de temporal, que se potencian durante las mareas altas. La mayoría de las víctimas de los tifones se debe más a las mareas de temporal que a los vientos. Los factores que contribuyen a que las mareas de temporal tengan mucha altura son: una línea de costa cóncava que evita que el agua en ascenso se reparta; un temporal con movimiento rápido que no da tiempo para que el agua se extienda; y unas aguas costeras poco profundas. También aumentan el peligro de mareas de temporal la alteración de la línea de la costa y la degradación ambiental, incluyendo la destrucción de los manglares, de los arrecifes coralinos y de otras formas de rompeolas naturales, como las bahías, los golfos y los aluviones de los deltas fluviales.

Las Islas Salomón están expuestas a los ciclones tropicales y han sufrido grandes riadas, erosión, corrimientos de tierras e inundaciones marinas. El *Namu* (1988) produjo lluvias torrenciales que provocaron corrimientos de tierras. Sólo en un pueblo de la provincia de Guadalcanal hubo 38 muertos. Los corrimientos de tierras trajeron material de erosión adicio-

nal procedente de las superficies expuestas, y los sedimentos amenazan al medio ambiente costero.

Tonga tiene un gran riesgo de que los ciclones tropicales le afecten con lluvias torrenciales y mareas de temporal. La isla de coral de Tongatapu no tiene corrientes de agua en superficie y las precipitaciones intensas encharcan de agua las depresiones del terreno. Como no hay cursos de agua, el drenaje es malo, y los encharcamientos suponen un peligro grave para los cultivos agrícolas. Las lluvias que el *Hina* (1997) precipitó sobre Tongatapu tuvieron el efecto de encharcar de agua la superficie, y el *Isaac* (1992) generó encharcamiento, intensas mareas de temporal y quemaduras en los cultivos por la sal de los rociones marinos.

Las islas de Tuvalu están 1 100 km al norte de Fiji y tienen unos 10 000 habitantes. Tuvalu no sufre con frecuencia ciclones tropicales, pero los que le afectan ocasionan graves daños. Por ejemplo, el *Bebe*, que azotó Funafuti en 1972, originó mareas de temporal estimadas en 4 m, que azotaron los islotes más poblados. El *Bebe* causó seis muertos y destruyó el 95% de las casas (Franco y otros, 1982, citado en el Programa de Reducción de Desastres del Pacífico Sur (PRDPS), 1992, página 10). En junio de 1997, el *Keli* azotó dos veces los atolones de Nukulaelae y Niulalakita, destruyendo todos los edificios excepto una iglesia; la causa principal de los enormes daños fue una marea de temporal, y no los vientos. El *Keli* llegó a producir tiempo violento en lugares tan distantes como el Territorio Francés del Pacífico de Wallis y Futuna, y como Samoa.

Vanuatu está en una de las zonas del sudoeste del Pacífico más propensa a los ciclones tropicales. Éstos son más frecuentes de noviembre a abril, cuando la temperatura del agua del mar es suficientemente alta para que los temporales se mantengan. La frecuencia de los ciclones tropicales puede variar mucho pero, en promedio, a Vanuatu le afectan cada temporada dos en las islas septentrionales y uno en las meridionales.

Los ríos de Vanuatu son cortos, y en tiempos normales poco caudalosos. Sin embargo, pueden crecer rápidamente después de lluvias intensas, y en especial durante los ciclones tropicales, período en el que pueden llegar a bloquear carreteras o arrastrar puentes. La topografía de Vanuatu hace a ésta muy vulnerable a los corrimientos de tierras. En general el drenaje es bueno, y las aguas de las inundaciones disminuyen rápidamente, excepto en las marismas o en los terrenos ganados al mar. Los temporales asociados a los ciclones tropicales, o a sus mareas, junto con las olas generadas por los fuertes vientos, ocasionan graves daños en las zonas costeras bajas. Los daños son mayores a medida que aumenta el desarrollo

de los terrenos costeros. Las mareas de temporal han penetrado hasta 200 m tierra adentro en Vanuatu.

Aunque a Samoa no la azotan con frecuencia los ciclones tropicales, en febrero de 1990 el *Ota* generó enormes mareas de temporal que dañaron las carreteras que recorren la costa. El *Fili* y el *Gina* (1989) provocaron extensas inundaciones que arrastraron casas y dañaron puentes y carreteras (PRDPS, 1992). En junio de 1997, cuando el *Keli* azotaba a Tuvalu, Samoa sufrió fuertes vientos atemporalados y precipitaciones intensas.

### El cambio climático y sus posibles efectos

La mayoría de los habitantes del Pacífico viven en zonas costeras bajas que son vulnerables a la elevación del nivel del mar y a los efectos del cambio climático. Los aumentos de la frecuencia y de la intensidad de los temporales y ciclones, combinados con una elevación del nivel del mar, aunque ésta fuese poco importante, podrían amenazar en el peor de los casos la propia existencia de algunos Estados y, en el mejor de los casos, ser un obstáculo importante para un desarrollo sostenible.

En los últimos años se han dedicado esfuerzos considerables a ser más conscientes del cambio climático, a progresar en la investigación de su vigilancia, a elaborar métodos para evaluar la vulnerabilidad, a vigilar la posible elevación del nivel del mar, y a reforzar las capacidades nacionales para comprender los fundamentos científicos del cambio climático y de la elevación del nivel del mar, sus efectos y la respuesta a los mismos.

Las naciones atolones de las Islas Marshall, Kiribati, Tokelau y Tuvalu son las más vulnerables a la elevación del nivel del mar causada por el cambio climático. Otras naciones insulares tienen en sus archipiélagos atolones que están amenazados. La preocupación de los Estados insulares del Pacífico se refleja en que han ratificado el Convenio Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), de la ONU. Otro ejemplo

de su interés lo constituyen las actividades del Programa del Medio Ambiente Regional del Pacífico Sur (PMARPS), en el Proyecto de Ayudas a las Islas del Pacífico por el Cambio Climático.

El cambio climático es una amenaza importante en la región y es probable que aumenten la frecuencia y la intensidad de los temporales y ciclones tropicales. En el Pacífico sur, la estación de los ciclones comienza en noviembre o diciembre y dura hasta abril o mayo, como se ve en el cuadro II, en el que también se aprecia que la temporada de ciclones parece estar alargándose. Ciertamente es que, desde que en los años 60 se comenzaron a utilizar los satélites, ha aumentado notablemente nuestra capacidad para reconocer a los ciclones, pero el aumento de su número en febrero y marzo desde los años 70 a los 80 tiene importancia estadística. El número de ciclones tropicales en los años 90, hasta la temporada 1996/1997, no resulta excepcional cuando se le compara con los de los años 70 y 80, pero aún faltan 2,5 temporadas. Aunque no hay pruebas concluyentes, la opción más segura sería suponer que aumentará la actividad ciclónica, y que serán mayores las temperaturas como consecuencia del calentamiento mundial.

### Estrategias, opciones y oportunidades para mitigar los efectos de los ciclones tropicales

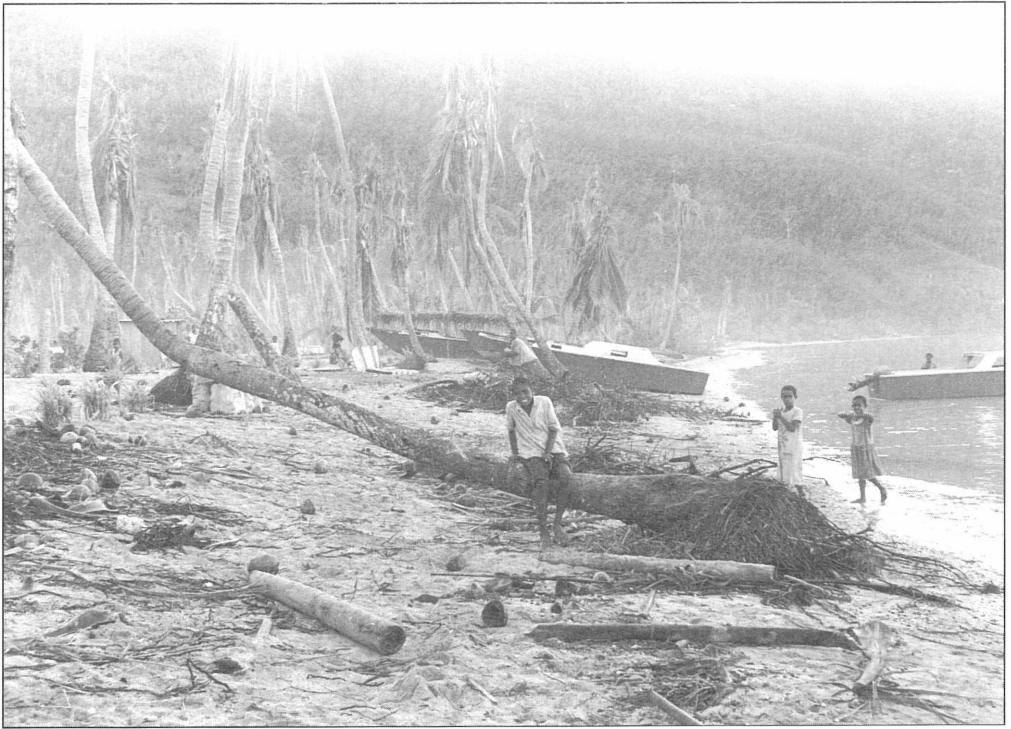
Aunque es inevitable que existan ciclones tropicales, se pueden minimizar las consecuencias de las inundaciones, de las mareas de temporal y de los corrimientos de tierras si se toman las medidas adecuadas. Esta mitigación puede reducir eficazmente las pérdidas de bienes, los daños a éstos y los sufrimientos. Es preciso que participen todos: los gobiernos, las organizaciones no gubernamentales, las instituciones privadas y el público en general. A escala mundial, se han creado instituciones y organizaciones para ayudar en las actividades de reducción de desastres, por ejemplo el DIRDN. A escala regional, también se han creado organizaciones específicas para ayudar en la mitigación

CUADRO II  
Número de ciclones por mes\* cada decenio  
(tomado de McDavitt, 1997)

Decenio	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Años 40		1	8	17	18	16	5		
Años 50		2	8	21	20	15	7		
Años 60		6	13	16	23	19	8		
Años 70	1	5	13	23	25	17	13	2	1
Años 80	1	3	12	26	37	31	13	5	
Años 90*		4	10	15	19	21	4	3	1

\*Hasta junio de 1997 únicamente.





Degradación costera y defoliación de la vegetación en el pueblo de Soso, en las islas Yasawa, a causa de un ciclón tropical

Fotografía: Ministerio de Información, Radiodifusión, Televisión y Telecomunicaciones de Fiji

y en la elaboración de estrategias. Por ejemplo, el PMARPS se dedica a gestionar el medio ambiente, con el objetivo de reducir los efectos del cambio climático. El Proyecto de Ayudas a las Islas del Pacífico por el Cambio Climático se concibió para ayudar a los países insulares del Pacífico en el marco de la Agenda 21 y del CMCC de la ONU.

### **Predicción de lluvias y de inundaciones**

La OMM promueve activamente la predicción de ciclones tropicales y ha colaborado de muchas maneras, entre ellas creando en todo el mundo Centros Meteorológicos Regionales Especializados (CMRE). El CMRE de Nadi, en Fiji, es el responsable de suministrar avisos y alertas de ciclones tropicales a gran parte de la región del Pacífico, incluyendo a la mayoría de los pequeños estados insulares. Estos avisos informan de la existencia de condiciones meteorológicas violentas, así como de la formación, movimiento e intensidad de los ciclones tropicales, y en especial del peligro inminente de vientos ciclónicos. Se restringen los avisos y alertas de efectos secundarios como las mareas de temporal y las lluvias, que causan inundaciones y corrimientos de tierras. Sin embargo, son estos efectos secundarios de los ciclones tropicales los

que amenazan la propia existencia de muchos países, más que los fuertes vientos por sí solos.

En la mayoría de los países insulares es difícil predecir las inundaciones porque varían mucho la distribución espacial y cronológica de las lluvias, la fisiografía de la cuenca y su tamaño, la densidad de estaciones pluviométricas y de aforo, así como por la falta de capacidad para tomar datos en tiempo real. La predicción de riadas sólo es posible en naciones que tengan capacidad para tomar datos en tiempo real, y cuyos ríos sean de una longitud suficiente que permita disponer de algún margen de tiempo para preparar y difundir las predicciones para el público. Por ello, en la región la predicción de inundaciones es reducida.

El que los Servicios Meteorológicos hagan predicciones cuantitativas de la precipitación sobre determinadas zonas puede ser útil para tomar medidas de prevención y mitigación frente al peligro inminente de riadas e inundaciones marinas, corrimientos de tierras y mareas de temporal. Hay oportunidades para arbitrar técnicas de predicción que pronostiquen la cantidad e intensidad de la precipitación asociada a cada uno de los diversos ciclones. Para lograr esto, es necesario trabajar mucho en la modelización y en la elaboración de técnicas.

## Opciones y oportunidades

Es la combinación de influencias geofísicas, hidrológicas y meteorológicas lo que posibilita que se originen los desastres, por lo tanto si hay que hacer predicciones válidas es deseable un enfoque multidisciplinario. Si los hidrólogos conocen los ciclones tropicales y sus características, las predicciones hidrológicas de inundaciones serán mejores.

Análogamente, y con la misma importancia, es necesario que los meteorólogos conozcan las características hidrológicas e hidráulicas locales, a fin de que puedan hacer predicciones meteorológicas más válidas y útiles para los hidrólogos. Como se ve, la formación multidisciplinaria de hidrólogos y meteorólogos merece mucha atención. Tienen gran importancia las predicciones en las que se basan los avisos. En un sistema de avisos eficaz, es de importancia fundamental el contenido de un mensaje de ciclones tropicales y de mareas de temporal. Esta información tiene que convertirse en imágenes creíbles y convincentes del peligro que se aproxima, las cuales producirán un ambiente de expectación y unas medidas de respuesta en un amplio espectro de personas que tienen distintos intereses y responsabilidades. La formación multidisciplinaria puede superar algunos de los problemas al facilitar lo siguiente:

- que los mensajes y avisos se hagan a la medida de grupos específicos, de localidades o de archipiélagos concretos;
- que la redacción de los mensajes y de los avisos tienda a facilitar una respuesta adecuada;
- que los mensajes sean precisos, comprensibles e informativos y estén orientados a que se tomen medidas acordes con las realidades cultural y tradicional;
- que la interpretación de las predicciones (por ejemplo la de la altura de las inundaciones) y su cobertura sean correctas, sin versiones contradictorias;
- que se eduque al público acerca de las predicciones, para que éstas se comprendan mejor;
- que se realicen más progresos, como el acoplamiento de modelos (hidrológicos-meteorológicos-hidráulicos) y la aplicación de los sistemas

de información geográfica para determinar los efectos.

Estos progresos podrían reducir notablemente la incidencia de los desastres en la Región, atraer a los expertos en desastres, aumentar la participación local, y reducir el tiempo de respuesta para tomar las medidas necesarias durante los ciclones tropicales. Y sobre todo, las organizaciones nacionales y regionales que participan en las actividades de reducción de desastres apreciarían más las actividades hidrometeorológicas.

## Reconocimiento

El autor agradece su ayuda a los miembros del grupo de trabajo en hidrología de la Asociación Regional V de la OMM; al Dr. A. Askew, de la Secretaría de la OMM, por su aliento; y, sobre todo, las sugerencias y comentarios editoriales del Profesor Paul Mosley, de la Universidad Victoria de Wellington, Nueva Zelanda.

## Referencias

- BROWN, N., L.A. AMADORE and E.C. TORRENTE, 1991: Philippines Country Study. *Disaster Mitigation in Asia and the Pacific*. Asian Development Bank.
- CARTER, N.W., M.J. CHUNG and S.P. GUPTA, 1991: South Pacific Country Study. *Disaster Mitigation in Asia and the Pacific*. Asian Development Bank.
- DAVIS, I. and S.P. GUPTA, 1991: Technical Background Paper. *Disaster Mitigation in Asia and the Pacific*. Asian Development Bank.
- LONGWORTH M.W. and R. RAJ, 1986: *Hydrological Aspects of Tropical Cyclones*. WMO RA V Working Group on Hydrology report.
- MACBEAN, A. (Ed.), 1988: *Extension information in Alpha 63 & 64*. Department of Scientific and Industrial Research Publishing, Wellington, New Zealand.
- McDAVITT, B., 1997: Fergus and Drena Come to Call. *Boating New Zealand*. February 1997.
- RAJ, R., 1990: Flood/High Tide Countermeasures in Fiji Tropical Cyclone Area. Paper presented at IDNDR Conference, Nagoya, Japan.
- SPDRP, 1992: *Natural Disaster Mitigation in Pacific Island Countries. A Policy Guide for Planners and Decision Makers*. Prepared by P.H. Michael. □

