



INVESTIGACION

Algunos Conceptos Relacionados con los Problemas de Inundación en México

En el verano nuestro país está sujeto a la acción de tormentas tropicales y huracanes en la mayor parte de su territorio. Durante el invierno los frentes fríos, que se originan en latitudes altas y viajan hacia el sur, causan fuertes precipitaciones, sobre todo en el noroeste de la República.

A estos fenómenos se suman los efectos orográficos y las precipitaciones originadas por fenómenos convectivos, que producen tormentas muy intensas aunque de poca duración y extensión, esta diversidad de condiciones meteorológicas produce escurrimientos extremos e inundaciones. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CNA)¹ entre 1973 y 1990 se ha registrado un promedio anual de 104 muertes por inundación y daños materiales por 176,500 millones de pesos de 1990. Estos valores promedio se incrementan notablemente, sobre todo en lo que se refiere al número de muertos, cuando ocurren eventos extraordinarios como los que se presentaron en 1976 y 1988, como se muestra en las figuras 1 y 2.

La importancia de estos fenómenos, a nivel mundial, provocó que la oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre (UNDRO) propicie investigaciones sobre el tema con base en las premisas básicas²; a) Los desastres naturales, y entre ellos las inundaciones, constituyen un obstáculo muy importante para el desarrollo, las pérdidas causadas han anulado el crecimiento económico. b) La mayoría de los desastres naturales pueden prevenirse, y c) Las medidas preventivas más fundamentales, son al mismo tiempo las menos costosas, ya que con excesiva frecuencia las acciones frente a las avenidas son sólo parcialmente efectivas **por no haberse incluido en el proceso la planificación del medio físico.**

FIG. 1 DAÑOS POR INUNDACIONES EN LA REPUBLICA MEXICANA PERIODO 1973-1990

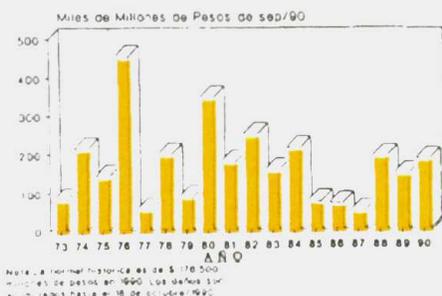
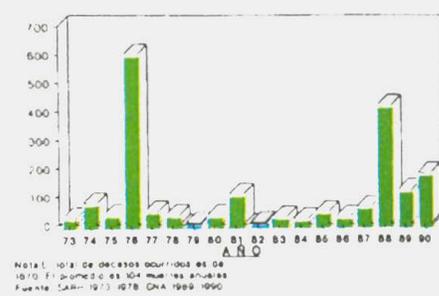


FIG. 2 MUERTES OCURRIDAS POR INUNDACIONES EN LA REPUBLICA MEXICANA PERIODO 1973-1990



EL PROCESO QUE ORIGINA LAS INUNDACIONES

El proceso que origina las inundaciones pasa por dos fases principales: la formación de la lluvia y su transformación en escurrimiento. Cuando la intensidad del escurrimiento -el gasto- rebasa la capacidad de los cauces o de las obras hidráulicas para su control y drenaje, se producen las inundaciones.

La precipitación se produce cuando el vapor de agua que transporta el viento asciende y la temperatura disminuye por abajo de la de punto de rocío.

De acuerdo con el proceso que da origen a la precipitación, pueden distinguirse: lluvias debidas a vientos que convergen hacia un centro de baja presión (tormentas tropicales o huracanes); lluvias orográficas, provocadas por vientos que transportan humedad del mar hacia las montañas; lluvias causadas por el encuentro de frentes de aire frío (nortes) con aire caliente y lluvias provocadas por corrientes convectivas que transportan aire húmedo.

Los mecanismos que dan origen a la precipitación también determinan sus principales

características: extensión, duración e intensidad.

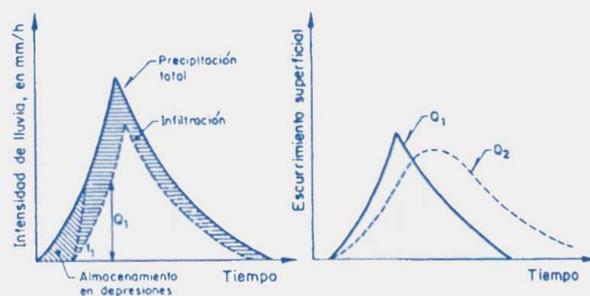
La lluvia se transforma en escurrimiento mediante un proceso que esquemáticamente puede verse así: (figura 3)

TRANSFORMACION DE LA LLUVIA EN ESCURRIMIENTO

Al principio, durante un tiempo t_1 , una parte de la precipitación se ocupa en llenar las depresiones del terreno y mojar la vegetación y otra se infiltra, de tal forma que el escurrimiento es prácticamente nulo.

Una vez que la intensidad de la lluvia supera la capacidad de infiltración del terreno, se inicia el escurrimiento

FIG. 3 TRANSFORMACION DE LA LLUVIA EN ESCURRIMIENTO



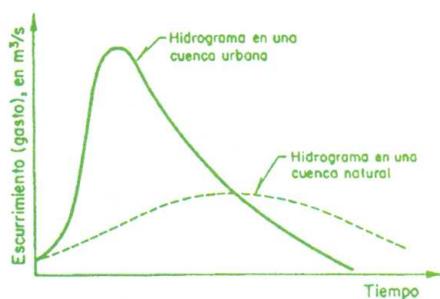
superficial Q_1 , aunque una parte de la lluvia sigue alimentando el proceso de infiltración.

La parte de lluvia que escurre superficialmente, denominada lluvia efectiva, pasa por un proceso de regulación, debido al almacenamiento temporal en arroyos y ríos, y de defasamiento en el tiempo, hasta alcanzar la salida de la cuenca (hidrograma Q_2 en la figura).

Para modelar correctamente el proceso descrito esquemáticamente, es necesario considerar que tanto las características de la precipitación como las de la superficie del terreno varían de un punto a otro de la cuenca, de tal forma que el proceso real es el resultado de la superposición de muchos procesos como el descrito líneas arriba.

Por otra parte, las condiciones de la cuenca varían de un época del año a otra; así, por ejemplo, la humedad del suelo y la cubierta vegetal pueden cambiar radicalmente de la época de verano a la de invierno. Los cambios más importantes, sin embargo, son los derivados de la actividad humana: el incremento de impermeabilidad debido a la urbanización, la deforestación y, en general, las modificaciones en el uso del suelo, provocan un aumento considerable en el volumen del escurrimiento y en la velocidad con que se presenta su valor máximo (figura 4).

FIG. 4 EFECTO DE LA URBANIZACION



Posteriormente, el hidrograma que se presenta a la salida de la cuenca escurre por el cauce del río, sufriendo nuevamente un proceso de regulación y de defasamiento que depende de las características del cauce, las que también pueden modificarse con el tiempo o debido a la actividad humana.

Si la intensidad del escurrimiento, es decir, el gasto, supera la capacidad del cauce o de las obras hidráulicas construidas para regular o drenar los escurrimientos, se produce una inundación.

HERRAMIENTAS DISPONIBLES

El desarrollo de medidas para disminuir los efectos negativos de las inundaciones se basa en la posibilidad de conocer con anticipación la magnitud de los escurrimientos.

Se acostumbra llamar "pronóstico" al resultado de un proceso que, a partir de datos observados en un tiempo determinado, t , permite estimar con cierto grado de precisión, la magnitud y distribución en el tiempo de los escurrimientos que se presentarán en un futuro inmediato. Por otro lado, dado el carácter aleatorio de los fenómenos que originan las avenidas, se requiere "predecir" la magnitud de los escurrimientos que se presentarán en un futuro indeterminado. Para el proceso de pronóstico se utilizan principalmente modelos causa-efecto, mientras que para la predicción se utilizan modelos probabilísticos.

Para hacer un pronóstico muy anticipado se utiliza la información meteorológica, que consiste principalmente en mapas de presión atmosférica a diversas alturas sobre el nivel del mar, así como de "fotografías" de la nubosidad. Esta información que, sobre todo gracias al avance de los satélites meteorológicos, ha mejorado enormemente en su calidad y oportunidad (se puede conseguir cada media hora) permite dar seguimiento al desarrollo y desplazamiento de los principales sistemas meteorológicos (ondas tropicales, zonas de altas o bajas presiones, líneas de convergencia, vaguadas, frentes fríos, etc).

Estos datos, en conjunto con los modelos numéricos de la atmósfera, cuyo desarrollo se ha producido principalmente en las últimas dos décadas, permiten un pronóstico cada vez más preciso de la evolución de los principales sistemas; sin embargo, el pronóstico de la precipitación aún es cualitativo y no parece confiable si se pretende una anticipación de más de 48 horas.

El pronóstico de los escurrimientos a partir de datos de precipitación puede ser, en cambio, bastante preciso. Para ello se

requiere una buena red de medición continua de la precipitación en la cuenca que se analiza. Los datos que se obtienen permiten calibrar los modelos lluvia-escurrimiento.

Para modelar la transformación de lluvias en escurrimiento durante una tormenta, conviene separar el proceso de dos partes; en la primera se define la lluvia que no contribuye al escurrimiento, a la que se denomina "pérdidas" y en la segunda se relaciona la parte restante de la lluvia, a la que se denomina lluvia efectiva, con el escurrimiento superficial o escurrimiento directo.

Los modelos más utilizados para caracterizar las pérdidas (ver ref. 3.) son el del coeficiente de escurrimiento, el del índice de infiltración media y el del número de escurrimiento. Todos ellos se calibran de tal forma que la lluvia efectiva multiplicada por el área de la cuenca de como resultado un volumen igual al del escurrimiento directo.

El modelo del coeficiente de escurrimiento considera que del total de la lluvia una proporción (C) escurre y la parte restante ($1-C$) constituye las pérdidas. Es decir

$$C = PE/PT \quad (1)$$

y

$$PE = VED/AC \quad (2)$$

donde C es el coeficiente de escurrimiento, PT , la precipitación total, VED el volumen de escurrimiento directo y Ac el área de la cuenca.

El modelo del índice de infiltración media supone que, para cada intervalo de tiempo, existe una capacidad de infiltración ϕ , de tal forma que la precipitación efectiva en ese intervalo esta dada por la relación

$$Pe(t) = \max \{0, Pt(t) - \phi\} \quad (3)$$

donde $Pt(t)$ y $Pe(t)$ son respectivamente la precipitación total y la precipitación efectiva, para el intervalo de tiempo t .

El valor de ϕ se calibra haciendo que

$$\sum_t Pe(t) = P_E \quad (4)$$

El modelo del número de escurrimiento N considera que el coeficiente de escurrimiento depende de la magnitud de la