

XII EGAL

Eje temático 5: Procesos de la interacción Sociedad-Naturaleza

LA AMENAZA DE DEBRIS FLOWS EN EL SECTOR PEDEMONTANO ANDINO DE SANTIAGO DE CHILE.

Geogr. Dr. Francisco J. Ferrando A
Departamento de Geografía – FAU
Universidad de Chile

I.- INTRODUCCIÓN

Los Debris Flows, conocidos en Chile como Aluviones, constituyen un proceso torrencial que implica la movilización violenta de grandes volúmenes de detritos heterométricos en una matriz lodosa, los que se movilizan por los cauces u otras depresiones existentes. Estos flujos constituyen un evento natural recurrente en las regiones de montañas jóvenes como es el caso de la Cordillera de Los Andes. Su desencadenamiento se asocia, entre otros, a las condiciones topográficas, a la predisposición de los materiales constitutivos de los relieves y a las condiciones hidro-morfodinámicas imperantes, las cuales responden a las características de precipitación y temperatura de los climas templado mediterráneos de fachada occidental de las cadenas montañosas borderas, mucho más húmedas que su antípoda.

Los eventos de este tipo en la zona oriente de Santiago de Chile han sido objeto de estudios recientes que han considerado componentes físicas del paisaje y su dinámica (geología, geomorfología, morfodinámica, hidrología, cobertura vegetal, clima, etc.).

En su descenso por las vertientes andinas, tanto hacia el oriente (flujos aluvionales sobre Mendoza, Argentina) como el occidente (piedmont de Santiago, Chile), estos flujos detrítico-barrosos trascienden sobre áreas de asentamiento humano generando graves impactos económico-sociales, al afectar principalmente áreas de expansión urbana tanto autorizada por programas oficiales como espontánea y, por lo tanto, generando desequilibrios en las economías locales y regionales.

Ello ha planteado una problemática interdisciplinaria y compleja carente de los enfoques y criterios adecuados en el pasado reciente. Ha sido gracias a la ocurrencia de desastres y su alto impacto social y económico que se ha dado la relevancia pertinente a la prevención de estos mecanismos, y se han establecido cuerpos normativos y exigencias respecto de estos estudios. Es así como en el análisis y estudio de estos fenómenos por parte de los organismos públicos locales, municipales y regionales, se han ido incorporando variables geográficas, otrora ausentes en la evaluación de estos procesos naturales y sus consecuencias.

II.- ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende los sectores precordillerano y del piedmont andino ubicados al oriente de la Región Metropolitana de Santiago de Chile, la que se extiende como área de estudio entre el valle del Río Mapocho por el Norte (33°21'30''lat. S.) y el valle del Río Maipo por el Sur (33°36' 01''lat. S.). La línea de cumbres de desarrollo N-S que limita este sector por el oriente se ubica aproximadamente a los 70°26' de longitud W.

El límite occidental por su parte se establece en los sectores de contacto de los conos pedemontanos con los grandes conos de deyección de los sistemas fluviales principales ya mencionados.

En relación a dicho sector, este involucra específicamente los territorios comprendidos en los sistemas de microcuencas que drenan la precordillera andina y cuyos depósitos conforman el piedmont aluvio-deyeccional, formas que comparten el territorio con remanentes acolinados de remociones en masa antiguas (Figura 1).

Desde un punto de vista geográfico-físico general, esta área forma parte de la vertiente occidental de la Cordillera de Los Andes y, más específicamente, de un frente de falla con más de 2000 m. de rechazo estratigráfico.

Al interior de este sector dual, se analizan y caracterizan las cabeceras de las microcuencas que se han desarrollado en este frente precordillerano, así como los conos de deyección que se han edificado a partir de ellas y su hidro-morfodinámica, los que en un proceso propio de coalescencia lateral y distal viene a constituir las formas de base del piedmont.

Administrativamente, el ecosistema de la precordillera andina constituye el límite oriental de la ciudad de Santiago, correspondiendo a las comunas de Vitacura, Lo Barnechea, Las Condes, La Reina, Peñalolén, La Florida, Puente Alto y Pirque.

Este sector precordillerano se encuentra emplazado en el Área de Protección denominada Santiago Andino y está conformado por ríos, esteros, quebradas, lagunas, formaciones rocosas, nevados, volcanes y cumbres de más de 6.000 msnm, fauna y flora nativa, en general paisajes y lugares de gran belleza escénica que presentan un enorme potencial turístico, recreativo, educativo y cultural.

Como contrapartida, a lo anterior se agrega la potencial ocurrencia de procesos ligados a la morfodinámica del ambiente precordillerano y pedemontano, lo cual genera situaciones de amenazas naturales producto de mecanismos de magnitud extrema, a los que está expuesta la población y los bienes de dichas comunas.

III.- OBJETIVOS

- Analizar y evaluar las condiciones hidro-morfodinámicas del contexto precordillerano de Santiago en relación con la ocurrencia potencial de flujos detríticos.
- Establecer los efectos de la expansión urbana en el contexto precordillerano y pedemontano andino respecto de las componentes naturales y la influencia recíproca en la ocurrencia de desastres por fenómenos aluvionales.
- Establecer un escenario diagnóstico y de recomendaciones respecto de la mitigación y prevención de desastres respecto de este tipo de situaciones de riesgo.

IV.- ENFOQUE ANALÍTICO

En relación a estos mecanismos naturales y su incidencia socio-territorial, si bien desprendimientos de tierra, deslizamientos de laderas, avalanchas de barro, escombros,

rocas, etc., son procesos naturales no siempre fáciles de predecir (Strahler, 1977; Holmes, 1969; Lobeck, 1939), es claro que los estudios orientados a determinar el estado de equilibrio morfodinámico de los relieves permiten avanzar concretamente en el establecimiento de zonificaciones y de la prevención (Ferrando, 2008).

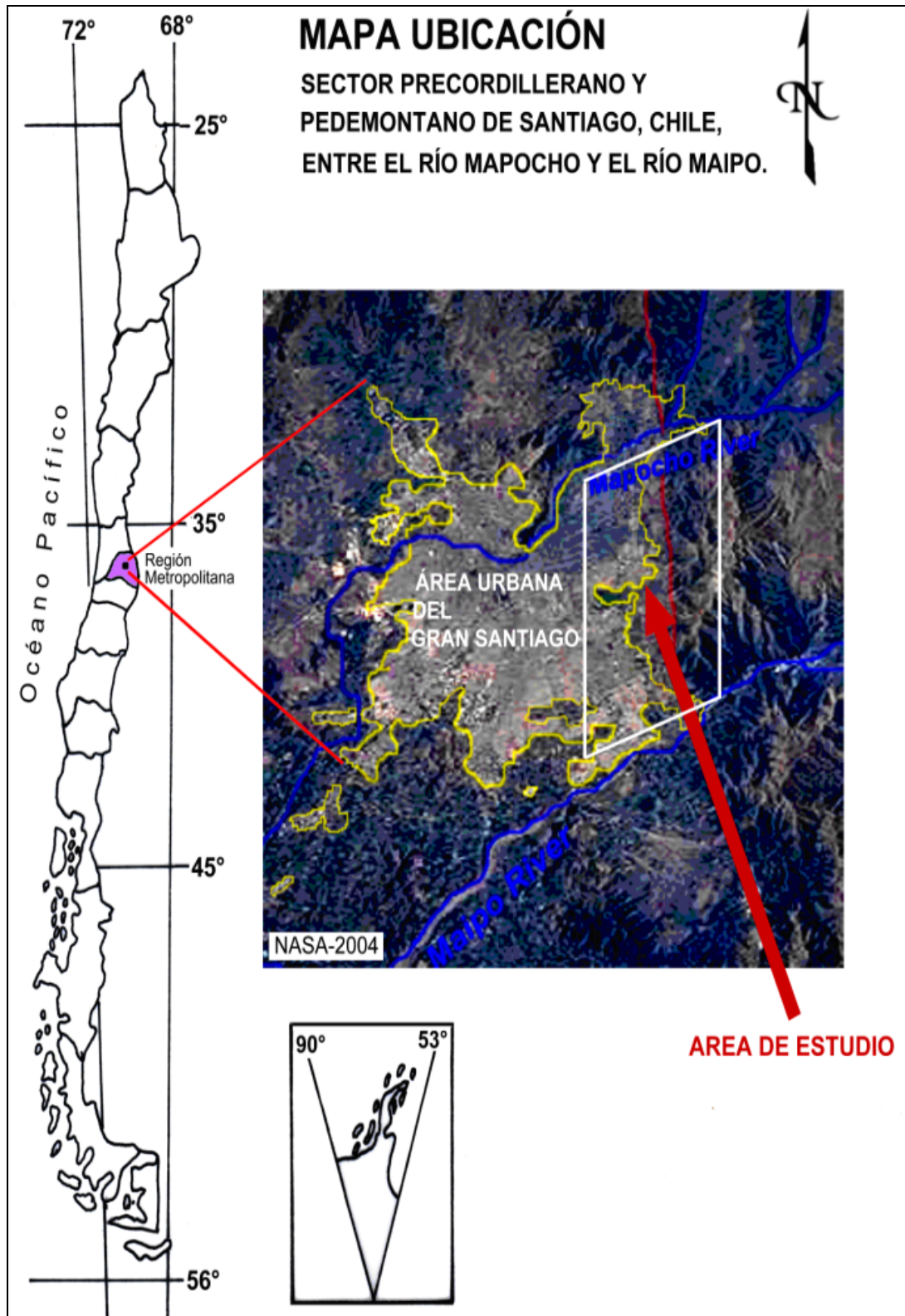


Figura 1

Desde el punto de vista de la relación causa-efecto, los medios montañosos y pedemontanos poseen su propio equilibrio y dinámica, por lo que la intensidad de los fenómenos se materializa en dinámicas igualmente específicas. La comprensión cabal de estas morfodinámicas, propias a cada contexto natural, es fundamental para la identificación de las principales relaciones causa-efecto, inmediatas y reales, a partir de las cuales es posible conocer los factores naturales y los factores antrópicos capaces de generar desajuste o desequilibrio en los procesos naturales activos con el objeto de buscar las formas más adecuadas de restablecerlos.

Del mismo modo, los análisis sobre niveles de estabilidad y vulnerabilidad de cada subsector de la precordillera y del piedmont permiten avanzar hacia un manejo y ordenamiento del uso del territorio adecuado.

V.- RESULTADOS

V.1.- Aspectos históricos y consecuencias

Considerando antecedentes históricos de las cuencas hídricas de la Cordillera de los Andes, y más específicamente, de las microcuencas de precordillera, existen vivencias y registros de una recurrencia histórica de movimientos o desplazamientos de materiales líticos y flujos con mayor o menor asistencia de agua, así como de las consecuencias en los espacios construidos o antropizados, generalmente del tipo desastres que entrañan muerte y destrucción de bienes privados y públicos.

Ello no ha revestido la gravedad que pudiera esperarse al interior del área andina templada debido a que las localidades que existen en este ámbito son escasas y se ubican en terrazas fluviales de valles relativamente anchos, o bien se trata de algunos enclaves mineros. Las sociedades o grupos humanos no viven en la cordillera en estas latitudes, a diferencia de las regiones tropicales húmedas por ejemplo.

No ocurre lo mismo en relación a las urbes que se localizan al pie de estos relieves o en los puntos de salida de los sistemas hidrológicos, o que se han ido extendiendo hacia dichos sectores. En estos casos las cifras tienen varios ceros tanto en casas dañadas o inutilizadas, puentes y vías cortadas como en vidas humanas.

Por otra parte una de las carencias comunes a todas ellas, y específicamente en este caso, a aquellas de latitudes templadas y en ambas vertientes, es la carencia de instrumentalización, es decir, de estaciones de medición climáticas e hidrológicas, o de su inadecuada ubicación cuando existe alguna. Por lo tanto, la primera dificultad con que se encuentra el investigador es la falta de datos básicos o la inutilidad de los existentes.

V.2.- Escenario resultante

Lo expuesto plantea una situación contradictoria puesto que si bien se tiene conocimiento de la alta inestabilidad de las laderas y conjuntos montañosos andinos, y se han sufrido demostraciones de ello con graves consecuencias económicas y sociales a nivel local, principalmente en sectores pedemontanos o inmediatos a cauces de ríos o quebradas, dicha situación no ha sido debidamente valorada y no se le ha dado la importancia que ello tiene para las economías locales. Se continúa viviendo de espaldas a la cordillera.

De hecho, quien construye su casa en una ladera privilegia la vista hacia el valle y no mira hacia arriba.

El “olvido social” es una característica de nuestras sociedades, quienes permanecen o vuelven a habitar los mismos sitios siniestrados (nivel socio económico bajo), o peor aún, los proyectos inmobiliarios privados (nivel socio económico alto) ascienden por los conos torrenciales inestables y las laderas de fuerte pendiente en una suerte de inconsciencia suicida.

Evidentemente, no son ellos los que perderán todo, incluso la vida, sino lo nuevos dueños o moradores (nivel socio económico medio) que han invertido muchos años de trabajo y ahorro en adquirir la casa propia, última que no es otra cosa que un ataúd disfrazado de vivienda con distintos horizontes de tiempo.

V.3.- Expansión urbana, justificación y consecuencias

Entre los motivos principales que explican el continuar construyendo cada vez más alto y más cerca del frente precordillerano, incluso en las secciones medias y bajas de sus propias laderas, están una mayor plusvalía del suelo, una búsqueda de ambientes más puros, una mejor vista o paisaje, el escapar de la urbe esquizofrénica sin alejarse demasiado de ella, etc.

Concretamente, en el caso de Santiago de Chile estos sectores corresponden a las comunas de más alto nivel socio-económico, o que si antes no lo eran, se han transformado progresivamente en ello. El mercado de tierras para urbanizar manejado por las inmobiliarias ha sido implacable en este sentido, y las autoridades municipales han demostrado su alta ineficiencia en el control de este proceso, más aún, generalmente lo han propiciado para incrementar sus ingresos vía permisos de construcción, patentes, contribuciones y otros.

En cierto modo, se están construyendo conscientemente situaciones de riesgo, las cuales no sólo involucrarán a los afectados directos por algún proceso natural de magnitud mayor, sino que a la ciudad y sociedad entera.

El redestino de fondos y el cambio de prioridades en relación a proyectos de bien social es uno de estos efectos. Los anegamientos intraurbanos por reducción de la áreas de infiltración por la compactación e impermeabilización del suelo es otra, y hay muchas consecuencias más.

V.4.- Morfodinámica, la expansión urbana y los problemas medio-ambientales

Los procesos geomorfológicos, sea cual sea el mecanismo detonante, transportan humedad y sedimentos hacia la base de las vertientes o hacia los sectores inmediatos fuera del ámbito montañoso, sufriendo variaciones de energía y de la velocidad de sedimentación, lo cual depende de situaciones locales, incluidas las climáticas, hecho que en el área de estudio específica ha llevado a la construcción de formas acolinadas de flujos detríticos densos y, principalmente, a conos torrenciales, los que en conjunto constituyen un ambiente de piedmont de características inestables.

La problemática surge del enfrentamiento entre dos medios: El medio ambiente construido y cada vez más invasivo e inconsciente de las situaciones de riesgo que está auto generando, y el medio ambiente natural, cuya evolución está en pleno desarrollo a una velocidad y energía no siempre parejas, por lo que suele sorprender a la población y a las autoridades locales y nacionales con manifestaciones de efectos altamente destructivos como los ocurridos en Marzo 1985, en Mayo 1993 y a fines de Agosto 2005.

No cabe duda que la expansión de las ciudades ha llevado a la construcción de situaciones de riesgo producto del incremento de la exposición a las amenazas naturales. Ello se debe, entre otros, a la ocupación de terrenos montañosos, laderas, cauces y terrenos inestables, lo cual viene a contribuir directamente a la generación de escenarios vulnerables.

V.5.- Vulnerabilidad, cultura y prevención

En muchas ciudades, el avalúo de la vulnerabilidad es ampliamente empleado como ayuda a la planificación ante desastres con componente natural. Dicha vulnerabilidad es establecida en base a información del medio ambiente físico combinada con el número de habitantes en riesgo y con información sobre la dimensión económica del peligro (Uitto, 1998).

Kakhandiki & Shah (1998) plantean como posible el rápido incremento de las probabilidades de desastres en las grandes ciudades si durante la misma generación humana la factibilidad de ocurrencia de un mismo evento natural extremo se mantiene constante.

Esta afirmación, si bien está fundada en el análisis de eventos como los terremotos, puede ser extrapolada a otras amenazas teniendo en mente el fenómeno del “olvido social”, el que consiste en una desvalorización mental del riesgo en el corto plazo.

Palm (1998) al referirse al permanente intercambio de políticas y prácticas relacionadas con la respuesta al riesgo ante terremotos entre Tokio (Japón) y Los Ángeles (USA), deja constancia de los distintos resultados alcanzados por similares acciones y emprendimientos, lo cual revela la importancia de las diferencias culturales.

Llevando esta experiencia al plano local, las diferencias culturales y de educación dentro de la población llevan claramente a reacciones claramente distintas en relación a medidas, políticas y restricciones impuestas respecto al uso del espacio y al tipo y calidad de las construcciones. Como consecuencia, la vulnerabilidad ante amenazas naturales se hace mayor mientras menor es el nivel cultural (el cual se identifica con el nivel socio-económico), y vice-versa, ya que ello redundaría en la percepción del riesgo, en la comprensión y aceptación de dichas medidas, y en la aplicación de la prevención a nivel particular.

Mitchell (1998) hace constar que el progreso en las herramientas analíticas existentes, orientadas al entendimiento de las amenazas naturales asociadas al proceso de urbanización creciente, avanza en tres direcciones diferentes: el análisis de la dimensión social de la vulnerabilidad; el desarrollo de metodologías dinámicas (temporo-sensitivas) para evaluar el riesgo y las capacidades de mitigación de la

amenaza en las megaciudades; y el desarrollo de modelos neuronales auto-organizativos y de aprendizaje adaptativo para la concepción de futuros patrones de asentamiento urbano.

Llama poderosamente la atención el que en esta afirmación, y como parte de la tendencia general de trabajar orientada y preferencialmente hacia la prevención, no se indique un cuarto y fundamental eje, aquél que tiene que ver con el desarrollo de modelos que permitan una más adecuada detección y evaluación de las amenazas naturales y su expresión espacial, como una forma de contribuir al ordenamiento territorial y, particularmente, a regular desde este punto de vista el proceso de expansión mercantil de las ciudades.

Gupta & Shah (1998) señalan que para los profesionales que trabajan en el campo del manejo de los riesgos y de la respuesta ante las emergencias, es difícil evaluar la relación costo-beneficio de las estrategias alternativas de mitigación posibles (o disponibles).

Ello deja en evidencia que por decisiones apresuradas, como las que se toman ante la ocurrencia de un desastre, los costos pueden alcanzar sumas exorbitantes. Es claro que, a pesar de no ocurrir aquello, generalmente los costos de la atención de un desastre y los fondos destinados ex-post a la recuperación, siempre parcial, exceden las inversiones programadas y paulatinas destinadas a estudios de evaluación de las amenazas, y a la aplicación de medidas de control, prevención y mitigación, desarrollables con base en el conocimiento.

V.6.- Aspectos particulares de la Problemática en Chile

Según Hauser (1993), extensos segmentos del territorio de Chile, en particular la zona altiplánica y la zona andina del centro del país, están sometidos a permanente riesgo de flujos de barro debido a sus morfologías empinadas integradas por rocas superficialmente tectonizadas (fallas y/o fracturas), con una gruesa cubierta de suelos residuales y materiales transportados, desprovistos de cobertura vegetal, y en ambientes bajo condiciones climáticas propicias a lluvias abundantes e intensas.

En este contexto, y en el caso particular de los núcleos urbanos de Chile Central, estos en su mayoría fueron fundados a orillas de ríos, criterio de selección de sitio que no vislumbró ni los comportamientos extremos de estos, ni otros procesos asociados a las cuencas de montaña, ni las consecuencias del crecimiento urbano y la presión por el espacio.

En un principio, los ríos pasaron a constituirse, entre otras funciones, en límites naturales a la expansión de las ciudades, por lo que en primera instancia se invadió sus riberas y lechos, para posteriormente saltar sobre ellos, con lo que estos cauces naturales quedaron insertos dentro de las ciudades. Posteriormente, la presión socio-económica por el suelo comenzó a ahogar los cursos de agua y a reducir drásticamente el ancho de los cauces, ignorando las necesidades de los ríos que, tarde o temprano, reclaman lo suyo (Ferrando, 1993).

Este ahogamiento de los cauces por bajo las necesidades requeridas en eventos que exceden los comportamientos medios, dio a los ríos otro rol desde el punto de vista antrópico: el de "agresores de la ciudad". La realidad concreta es evidentemente otra: los

procesos naturales requieren y disponen de los espacios que les son propios para el desarrollo de sus distintas fases.

Posteriormente, y dentro del proceso de “escape del centro” en busca de mejor calidad de vida, los sectores más acomodados fueron invadiendo el piedmont y los cauces de las quebradas de precordillera, en una tendencia inconsciente de ocupación de lugares de riesgo. Por otra parte, dado que dicho grupo social es fuente de trabajos menores para sectores de escasos recursos, estos últimos buscando la cercanía a la fuente laboral ocuparon los peores sectores por su alta exposición a procesos de remoción en masa.

Hauser (op. cit.) señala en este sentido, que las zonas llanas aledañas al borde preandino de Chile central (32° a 35° S.), bastamente pobladas, presentan alto riesgo potencial frente a procesos aluvionales (flujos de barro y detritos), propios de la integración de importantes caudales de agua con gran carga de sólidos y considerable energía destructora. En forma específica, se indica que numerosas quebradas tributarias de las secciones andinas de valles como el del Río Maipo denotan gran vulnerabilidad a sufrir remociones en masa durante la estación invernal, las cuales suelen invadir y obstruir obras viales y colmatar las obras de arte asociadas.

El no respeto de dichos espacios ha traído como consecuencia que el hombre y sus asentamientos y actividades transgresoras reciban los efectos del tránsito natural de distintos tipos de flujos. De hecho, nuevas situaciones de riesgo están surgiendo en función de la tendencia a extender la ciudad hacia sectores altos, ocupando áreas de piedmont, tales como los ápices de conos de deyección provenientes de quebradas de carácter torrencial, incluso relleno y urbanizando sectores de estas mismas quebradas.

La experiencia del aluvión que afectó la parte oriental de la Ciudad de Santiago de Chile, el día 3 de Mayo de 1993, con grandes pérdidas materiales y humanas, es un ejemplo elocuente y dramático del desconocimiento, a veces a propósito por parte de las inmobiliarias, de los procesos naturales y, específicamente, de la dinámica de las cuencas hidrológicas de montaña, privilegiándose otros objetivos más lucrativos.

Es claro que, junto con regular la ocupación del espacio en los sectores inmediatamente fuera del marco montañoso para reducir la exposición a eventos naturales con carácter de amenaza, se debe también buscar las formas para aumentar la resistencia de las superficies al interior de las cuencas, y diseñar mecanismos que propendan a atenuar la energía de los mismos. Pero para ello, primero es necesario determinar cuales son los sectores más inestables, vulnerables o susceptibles a la erosión y reducción de masa, puesto que la gravedad de situaciones particulares al interior de cada cuenca debe guiar la priorización de las acciones.

Cabe aquí recordar por la vigencia de su contenido, el primer informe de IVUPLAN, Instituto de Vivienda, Urbanismo y Planificación de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Chile, con motivo del terremoto del 21 de mayo de 1960, el más grande que recuerde la historia del planeta, evacuado con fecha 24 del mismo mes: (Pavéz, 1992).

- *“Los efectos de los fenómenos naturales sucedidos indican que gran parte de la destrucción se debe al emplazamiento inconveniente de los centros poblados*

(tierras bajas, rellenos, riberas de ríos, faldas o pies de cerros, etc.), sumado al carácter extraordinario de esos fenómenos de magnitud imprevisible”.

- *“No existe en el país suficiente convencimiento sobre la inevitable condición geográfica de Chile, caracterizada por su permanente exposición a terremotos, maremotos, erupciones, rodados, etc., en cualquiera de sus regiones”.*
- *“Consecuentemente, no existe una organización adecuada para enfrentar los desastres una vez producidos, por ej.: falta de planificación nacional y local de la habitación de emergencia, con planes y modalidades de acción inmediata. Tampoco existe el control necesario para impedir emplazamientos peligrosos, salvo contados Planes Reguladores urbanos que, a su vez, no son suficientemente estrictos en esta materia”.*
- *“Fuera de las disposiciones técnico-legales necesarias para remediar la situación indicada, es fundamental el rol que corresponde a los Directores de Obras Municipales, funcionarios que no tienen, en todos los casos, el nivel técnico y aún moral conveniente, debido a las bajas remuneraciones del cargo o estancamiento por su lejanía de los centros culturales.*

Hoy en día, salvo por el aumento de los Planes Reguladores y las exigencias y restricciones que de ellos emanan, así como por que los cargos de Directores de Obras Municipales son profesionales de la construcción, aún subsisten la mayoría de las debilidades indicadas ya más de 46 años atrás.

V.7.- La problemática particular del marco andino de Santiago

Dentro de la mecánica natural de los ambientes de montaña, y en este caso específico, de las microcuencas de la precordillera andina de Santiago, se están desarrollando permanentemente procesos que pueden, directa o indirectamente, dar origen al desencadenamiento de eventos que por su magnitud constituyen una amenaza.

Junto a la acumulación lenta, pero constante, de masa y energía por parte de algunos procesos, se generan otros que gatillados por fenómenos telúricos, hidrometeorológicos o volcánicos, efectúan una sumatoria instantánea de estos conjuntos de masa y energía dispersos, aunándolos y concentrándolos en un sólo proceso que, por las dimensiones alcanzadas, se constituye en una amenaza natural.

El desencadenamiento de estas amenazas puede afectar áreas con o sin intervención antrópica. En estas últimas, la energía se disipará gradualmente al alcanzar la masa detrítico-fluidal áreas de poca pendiente, no involucrando el desarrollo de la condición de riesgo.

Por el contrario, en aquellos sectores donde hay presencia del hombre (Ciudades, Obras de infraestructura, Actividades Agro-frutícolas e Industriales, etc.), la condición de riesgo, entendida como el daño que el desencadenamiento de una amenaza o proceso natural de proporciones puede ocasionar en estas, es directamente proporcional a la vulnerabilidad y a la exposición a la trayectoria del fenómeno, e inversamente proporcional a la resistencia a este.

Dada esta realidad, aparte de medidas tendientes a disminuir la exposición y aumentar la resistencia frente a fenómenos naturales, es necesario atacar el problema en sus orígenes, lo cual implica actuar sobre las amenazas, es decir, intervenir en las "zonas de producción" de las cuencas, utilizando en concepto de S. Schumm (1977), así como en la gestación y/o desarrollo de los procesos en la medida de lo posible, mediante medidas de control o de mitigación, las que pueden ser tanto no-estructurales y biológicas como estructurales.

En este sentido, se han formulando durante 1993 las Bases para desarrollar un Plan Regional de Prevención de Situaciones de Riesgo para la Región Metropolitana, en el consenso que "prevenir es mejor y más económico que reparar lo reparable y lamentar lo irreparable" (vidas humanas) (Ferrando, 1993).

Dicho plan está orientado específicamente a definir las líneas de acción a seguir en dos ámbitos espaciales: las cuencas hidrográficas del frente preandino de Santiago y, el sector del piedmont. Se trata en estos sectores de generar un Plan de Manejo de las Cuencas Precordilleranas, y un Plan de Gestión del Piedmont, en un contexto multidisciplinario.

A pesar de que los humanos poco nada podemos hacer para cambiar la incidencia o intensidad de la mayoría de los fenómenos naturales, tenemos un importante rol que jugar en el aseguramiento o prevención de que estos no se conviertan en desastres por nuestras propias acciones.

Al respecto, es de importancia trascendental entender que las intervenciones del hombre pueden incrementar la frecuencia y energía de las amenazas naturales, e incluso generarlas en lugares donde no se han registrado anteriormente, en parte debido a que la intervención reduce los efectos de mitigación propios de los ecosistemas naturales. Esto cambia el peso de las causas, de desastres de causas puramente naturales a aquellos antropicamente asistidos.

Tomando en cuenta que la Cordillera de los Andes es considerada una cadena montañosa joven, así como los antecedentes relativos a su desnivel altimétrico y extensión de los cursos de agua principales inscritos en ella, llama la atención lo fuertemente disectado que se presenta el paisaje por profundos valles de escasa pendiente, revelando tanto una alta erodabilidad de los sustratos como una gran efectividad de los sistemas de erosión que se han enseñoreado de ella.

Los análisis de la información geológica revelan una alta vulnerabilidad e inestabilidad, reflejo del fuerte fracturamiento, fallamiento y plegamiento sufrido en las fases tectogenética y orogenética del Terciario, amén de la presencia de áreas afectadas por alteración.

El fondo de la depresión de Santiago y su relleno por ríos de mayor magnitud ha servido de nivel de base y ha regulado el desarrollo del perfil longitudinal de los drenes de las microcuencas en estudio y, por lo tanto, comandado la acción de la erosión regresiva.

Paralelamente, la vertiente occidental de este sistema montañoso registra marcados cambios vegetacionales en su desarrollo altimétrico, presentando la formación de bosque esclerófilo acompañada de especies xerófitas bajo los 1700 m.s.n.m., la cual da paso gradual con el incremento de la altura a un matorral espinoso achaparrado y abierto.

Sobre los 2000 msnm este matorral trasciende a vegetación acojinada y muy dispersa, situación que se hace crítica entre los 2300 y 3000 msnm, rango altimétrico variable según la exposición, pero en el que la vegetación se reduce drásticamente a sólo algunas gramíneas y yareta, con presencia de musgos y líquenes. Sobre los 3000 msnm ya la vegetación es prácticamente inexistente, y la cobertura nival tiende a permanecer la mayor parte del año.

Esto se relaciona directamente con el grado de cobertura del suelo y su protección en relación a los efectos degradacionales y de movimientos en masa producto del accionar de los sistemas de erosión imperantes. Dado lo expuesto, ya sobre los 2300 msnm la acción del manto vegetacional al respecto es despreciable, y si se considera que las alturas máximas de las cabeceras de algunas de las microcuencas en estudio superan con creces dicha cota, se desprende que un gran porcentaje de la superficie de ellas está directamente expuesta a los agentes atmosféricos y los mecanismos de desagregación y meteorización de la roca.

Producto de lo expuesto, existe una alta dinámica de laderas sobre esta cota, expresada en abundancia de superficies regolíticas por la activa fragmentación de la roca (gelifracción), movimientos gravitacionales, soliflucción, etc.. A lo expuesto se suma la acción del drenaje, motivado tanto por precipitación líquida directa como por aporte de aguas de fusión nival.

Son las vertientes o laderas entonces, las unidades espaciales más dinámicas y que generan los mayores aportes de masa y energía hacia los cauces principales. A ello se suma el que estos planos inclinados constituyen la casi totalidad del paisaje, puesto que la expresión areal de crestas y valles es despreciable en el conjunto.

Según Araya (1973), una morfoestructura preferentemente discordante de las vertientes favorece el apareamiento de muchas cornisas proporcionadoras de detritos. Estos farellones o acantilados rocosos tienen siempre una pendiente mayor a la del talud coluvial generado a sus expensas. El grado de permanencia de los materiales en este último depende del dominio morfoclimático y del grado de evolución.

En la montaña los taludes son de material suelto, a diferencia de los de las tierras bajas que están más estabilizados, frecuentemente cubiertos por suelo delgado y colonizados por vegetación, lo cual conduce a que los primeros se constituyan en la fuente proveedora de los procesos de remoción de masa que en este ámbito se generan.

Otros hechos señalados en la literatura consignan que las cabeceras de las hoyas hidrográficas de la zona andina de Chile central próximas a glaciares activos en proceso de retroceso, normalmente liberan voluminosas acumulaciones de rocas fragmentadas en condición límite de equilibrio, las que resultan muy propicias para el desarrollo de flujos detríticos. Al respecto, los glaciares introducen una serie de variables que normalmente no tienen relación con la morfometría e hidrometeorología de las respectivas cuencas, razón por la que no sería posible aplicar cálculos de períodos de retorno al estudio de riesgos de flujos detríticos, sino más bien buscar establecer la potencialidad de ocurrencia del proceso en tanto cuanto amenaza. (Modificado de Hauser, op. cit.).

V.8.- La Susceptibilidad Natural

Por otro lado, la Cordillera de los Andes es una cordillera joven con un alto compromiso tectónico y que aún no ha terminado de sufrir la denudación de sus relieves, es decir, la salida de los grandes volúmenes de material clástico que cubren su interior rocoso sano, como es el caso de las cordilleras del viejo continente.

La vertiente occidental de la Cordillera de Los Andes en sus latitudes medias está constituida fundamentalmente por formaciones sedimentario-volcánicas de edad terciaria, las que han sido objeto de un fuerte tectonismo de fallas y pliegues. A ello se agregan procesos de alteración hidrotermal y mineralizaciones, frecuentes diques y cuerpos intrusivos. Estos últimos corresponden a granitoides que generan una gran cantidad de bloques por desprendimiento en función de su densa red de diaclasas.

En cuanto a alturas y pendientes, los relieves andinos inmediatos a la depresión central en que se localiza la ciudad de Santiago (550 m.s.n.m.), capital de Chile, alcanzan abruptamente más de 3.000 mts. en pocos kilómetros, sobrepasando la línea de las nieves estacionales, la que en promedio se ubica entre los 2.500 y los 2.700 metros. Estructuralmente se trata de un murallón montañoso que corresponde a un frente de falla regional de eje N-S, y en el que se aprecian varios niveles de facetas triangulares y trapezoidales. Dada su naturaleza genética, las pendientes medias son también considerables.

Inscritas en este frente montañoso se desarrollan un sinnúmero de microcuencas que por su escaso desarrollo y, por lo tanto, poca superficie, presentan una alta compacidad, laderas con pendientes muy fuertes, muchas de las cuales superan la pendiente de equilibrio ($30-32^\circ$), y breves tiempos de concentración y respuesta. Existen las huellas y construcciones en el paisaje que hablan de comportamientos violentos y masivos de la mayoría de ellas, tales como grandes depósitos de remociones en masa antiguas y conos torrenciales, últimos caracterizados por la fuerte inclinación de su eje longitudinal, lo grosero y desordenado de sus materiales, su baja compactación y alto nivel de circulación hídrica subsuperficial, aspectos que les otorgan una baja estabilidad y una condición precaria de equilibrio, la cual debiera ser cuidada.

Finalmente, la vegetación de estos sectores andinos, la cual alcanza con especies arbóreas en manchones dispersos sólo hasta los 2500 m. de altura, corresponde a especies esclerófilas que se localizan en las laderas de umbría y especies xerófitas en las laderas de solana. Como resultado de la interacción de esta cobertura con los procesos de precipitación, escurrimiento, infiltración y evapotranspiración, y su influencia en los procesos erosivos, se ha constatado que la existencia de un tapiz vegetacional según aumenta su densidad, complejidad y talla o altura, va incrementando junto con el peso de la biomasa, la humectación del suelo y propiciando su pérdida de equilibrio, hecho que también es directamente proporcional al incremento de las pendientes, y las raíces son incapaces de soportar la tracción y retener los mantos detríticos y/o edáficos.

Por lo tanto, existe una serie de elementos formativos permanentes y semipermanentes que imponen una condición de alta susceptibilidad de estos relieves andinos a sufrir movimientos de masas detríticas, procesos en los que la ocurrencia de eventos climáticos, tipo precipitaciones prolongadas o intensas provenientes de frentes de distinto origen y altura, sumados o no a movimientos sísmicos, y sumados o no a la presencia de

volúmenes de nieve estacional preexistente, actúa sólo como los mecanismos desencadenantes.

V.9.- Alcances sobre la incidencia actual del Sistema Periglacial en la Precordillera

En el área precordillerana andina en estudio, los procesos de tipo periglacial se restringen en la actualidad a los relieves ubicados por encima de los 3000 msnm, es decir, solo al sector superior de las microcuencas de San Ramón y Macul, por lo que su accionar en términos espaciales está claramente establecido.

El proceso hielo-deshielo a nivel de la humedad intra-fracturas viene a producir detritos durante el invierno, los cuales se acumulan en las laderas de modo inestable. Luego, este mismo proceso de cambio de estado del agua, ahora contenida en el manto regolítico “induce a los desplazamientos ladera abajo en ambientes no glaciales, donde la vegetación es muy escasa o inexistente” (Matsuoka, 2001). Estos procesos, ampliamente referidos como soliflucción, los cuales operan lentamente (rangos de hasta 1m/año), pero que sin embargo han tenido una reconocida influencia en la evolución de los paisajes montañosos, van acompañados por los desprendimientos, pérdidas de equilibrio y vertiginosa rodadura ladera debajo de fragmentos rocosos mediante una suerte de proceso de saltación, en que cada golpe les arranca fragmentos, reduciendo su tamaño. En este caso, se podría hablar de “voladura de detritos”.

A nivel local, estos procesos vienen a contribuir en parte a la movilización de los detritos generados por crioclastismo durante la estación fría en los sectores altos indicados, producto de las diferencias térmicas entre el día y la noche, las cuales sobre 3000 msnm oscilan entre algunos grados bajo cero en la noche (-5° a -10° C) y varios grados sobre cero en días despejados (5° a 15° C) de invierno.

V.10.- Realidades y visiones

Si bien un aluvión puede no ser evitado, en cambio, si es posible controlar su energía y mitigar sus efectos para que no se transformen en acontecimientos catastróficos. Por tal motivo, el análisis de esta amenaza natural, para la que deben implementarse medidas de control y mitigación a corto plazo, ha sido el objetivo principal de algunos estudios, algunos de ellos binacionales (Ferrando *et als*, 1997).

La Región Metropolitana de Santiago de Chile ha estado marcada estos últimos años por procesos naturales extremos que han alcanzado el espacio antropizado, generando graves daños a la población y a la propiedad pública y privada. Ciudades como Santiago se han estado expandiendo hacia los sectores altos que rodean la planta urbana.

“En muchos casos estos terrenos corresponden a depósitos aluviales y valles donde los ríos desembocan en la depresión al pie de las montañas, sectores que son naturalmente sujeto de flujos concentrados de agua y sedimentos, los cuales irrumpen irregularmente en el asentamiento urbano y crean situaciones potenciales de catástrofes” (Bathurst & O’Connell, op. cit).

Como corolario de la triste experiencia señalada, se puede establecer con propiedad que si las ciudades avanzan avasalladoramente sobre el medio natural, encontrarán en éste un temible adversario.

La experiencia reciente del aluvión que afectó la parte oriental de la Ciudad de Santiago de Chile, el día 3 de Mayo de 1993, con grandes pérdidas materiales y humanas, es un ejemplo elocuente y dramático del desconocimiento, a veces a propósito, de los procesos naturales y, específicamente, de la dinámica de las cuencas hidrológicas de montaña.

Lo expuesto se condice con lo señalado por Hewitt (1989b) en el sentido de que las sociedades influyen en los mapas de riesgo geomorfológico de dos maneras: En primer lugar, el asentamiento y los usos del suelo generan condiciones de riesgo ante amenazas dadas por la vía de la exposición a ellas y, en segundo lugar, las actividades humanas asistidas por nuevas tecnologías pueden alterar drásticamente los paisajes y, por lo tanto, la magnitud e incidencia de los procesos naturales, tal como los movimientos de masa inducidos o incrementados por la deforestación.

VI.- CONCLUSIONES.

Como una forma de valoración ex-post de este tipo de procesos y sus desastrosos efectos, en Chile las zonificaciones de riesgo han sido incorporadas en recientes instrumentos de ordenamiento territorial tanto de dimensión regional como comunal, con el objeto de regular la expansión urbana, los cuales se encuentran en muy diferentes status en términos prácticos y de efectividad.

En lo específico, desde la dimensión temporal (cronológica), se ha demostrado que el fenómeno de flujos de escombros, barro, rocas, etc., detectado es más generalizado e intenso de lo supuesto, y constituye la mayor sombra de amenaza de desastre sobre el área de piedmont de Santiago.

Tanto en la precordillera como en el piedmont, por sus características geológicas y geomorfológico-sedimentológicas, se reconoce la existencia irrefutable de materiales rocosos susceptibles de ser movilizados durante las crecidas experimentadas por las quebradas en períodos de precipitaciones invernales muy abundantes (15 a 20% sobre el promedio).

De acuerdo al análisis de los eventos históricos (Ferrando, 2008), cada evento aluvional es el resultado de una combinación aleatoria única y específica de factores tanto estables (constitutivos del medio) como variables, siendo estos últimos los asociados al clima local y a la sismicidad (mecanismos detonantes).

El incremento de la predisposición de los componentes del medio físico a perder parte de su masa está directamente relacionado con la producción y acumulación progresiva de materiales detríticos en cubiertas o depósitos no consolidados o inestables en la zona de producción de las cuencas, tanto en laderas como en cauces.

En términos generales, teniendo en cuenta que la reducción de la vulnerabilidad a los procesos naturales de magnitud mayor (amenazas naturales) debe ser considerada como parte integrante de las agendas para el desarrollo, y que sin lo anterior, no es posible alcanzar la sustentabilidad (Bender, 1996), los análisis y planteamientos aquí presentados contribuyen a entregar herramientas y criterios de análisis para el adecuado aprehendimiento e incorporación de la dinámica natural en los planes y normas de administración territorial y planificación del uso del espacio, en una gestión objetivada por la reducción de los desastres.

Considerando lo señalado, lo señalado busca aportar a la prevención y mitigación de estas confrontaciones hombre-naturaleza, cada vez más comunes a múltiples ciudades latinoamericanas, toda vez que un desastre es el producto de un proceso, y que es en el desarrollo de este proceso donde se puede intervenir tempranamente, ello en el convencimiento que el riesgo es una creación humana producto de la torpeza del hombre de considerarse superior a la naturaleza (Ferrando, 1996), lo que refleja la inadaptableidad de la sociedad al medio ambiente (Lavell, 1993).

VII.- BIBLIOGRAFIA

- BATHURST, J. C. & O'CONNELL, P. E. (S/F). Physically based modelling of hydrological and sediment impacts on river basin management options in Chile. Dept. of Civil Engineering, University of New Castle upon Tyne, New Castle upon Eyne, NF17RU, UK. Extended Abstract. 5 pp.
- FERRANDO, F. 1993. "Zonificación de la Amenaza Natural en Cuencas Hídricas de la Cordillera de Los Andes de Chile Central". En: Actas del Seminario Taller Interamericano "Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas", Valparaíso, Chile. 17 pp.
- FERRANDO, F. 1996. "El Riesgo por Remociones en Masa e Inundaciones en la Región Metropolitana de Chile: Estado del Conocimiento y Representación Cartográfica", Proyecto OTAS-RM / Fase 1. Gobierno Región Metropolitana - DID.-U. de Chile. 39 pp.
- FERRANDO, F. *et als.* 1997 Análisis comparado de asentamientos urbanos en áreas de riesgo aluvional y su impacto socio-económico en las ciudades de Mendoza (Ar) y Santiago (Ch): Resultados preliminares. En: XV Reunión de Consulta de la Comisión de Geografía, Sección nacional de Chile del Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Santiago, Chile. 36 pp.
- FERRANDO, F. 2008. Amenazas Naturales en el Sector Oriente de la Región Metropolitana de Santiago de Chile: Los Movimientos en Masa. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, España. 366 págs.
- GUPTA, A. & SHAH, H. 1998. The strategy effectiveness chart: A tool for evaluating Herat disaster mitigation strategies. *Applied Geography* 18(1):55-67.
- HAUSER Y., A.. 1993. Remociones en Masa en Chile. Boletín N° 45. SERNAGEOMIN. Chile. 75 pp.
- HAUSER Y., A.. 1985. Flujos de Barro en la Zona Preandina de la Región Metropolitana: Características, Causas, Efectos, Riesgos y Medidas Preventivas. En: *Revista Geológica* 24: 75-92.
- KAKHANDIKI, A. & SHAH, H. 1998. Understanding time variation of risk: Crucial implications for megacities worldwide. *Applied Geography* 18(1):47-53.
- LAVELL, A. 1993. "Ciencias Sociales y Desastres en América Latina: Un Encuentro Inconcluso". En Maskrey, A. Los Desastres no son Naturales. La Red, Tercer Mundo Editores. Bogotá. Págs. 135 – 154.
- LAVELL, A. (ed.). 1997. Viviendo en Riesgo: Comunidades Vulnerables y prevención de Desastres en América Latina. La Red, Tercer Mundo Editores. Bogotá. 288 pp.
- MITCHELL, J. 1998. Introduction: Hazards in changing cities. *Applied Geography* 18(1):1-6.
- PALM, R. 1998. Urban earthquake hazards: The impacts of culture on perceived risk and response in the USA and Japan. *Applied Geography* 18(1):35-46.
- PAVEZ R., M. I. 1992. La institución del urbanismo en la facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile. Sesquicentenario de la Universidad de Chile 1842-1992. Edit. Depto. Urbanismo-Univ. de Chile. 151 pp.
- PAVEZ, MARIA ISABEL. 2002b. "Planificación urbana-regional y paisaje: la impronta de los planes 1960-1994 para Santiago de Chile". *Revista de Urbanismo* N° 6. Publicación electrónica editada por el Departamento de Urbanismo de la Universidad de Chile. Santiago, Chile. 28 pp.
- SCHUMM, S. A.. 1977. *The Fluvial System*. Ed. John Wiley and Sons. New York. 338 pp.
- STRAHLER, A. N., 1958. Dimensional Analysis Applied to Fluvially Eroded Landforms. En: *Geol. Soc. of America Bull.* 69:279-300.
- UITTO, J. I. 1998. The Geography of Disaster Vulnerability in Megacities: A theoretical framework. *Applied Geography* 18(1):7-16.