

PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA E IMPLICACIONES AMBIENTALES (PARTIDO DE TANDIL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES)

Gentile Rodolfo⁽¹⁾ y Susena Juan⁽²⁾

⁽¹⁾ Cátedra de Geomorfología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP).
Facultad de Ciencias Sociales (UNICEN). Instituto de Geomorfología y Suelos.

⁽²⁾ Cátedra de Mineralogía, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP).
Instituto de Geomorfología y Suelos, La Plata. CONICET. Departamento de Ciencias de La Tierra y Física de La Materia Condensada (Universidad de Cantabria).
gentilerodolfoosvaldo@gmail.com; juanmsusena@gmail.com

RESUMEN

Los procesos de remoción en masa operan en la superficie terrestre por acción de la gravedad afectando rasgos naturales y artificiales del paisaje. Movilizan rocas, detritos y materiales producto de actividades humanas, con cantidades variables de hielo y/o agua. El uso del espacio en el partido va en aumento, ocupándose y generándose nuevas áreas susceptibles a dichos procesos, los que se desarrollan en contextos de diferente densidad poblacional. Los objetivos consisten en reconocer, caracterizar y analizar la distribución, recurrencia, probables mecanismos de producción y consecuencias ambientales. El estudio, se realizó con tareas de gabinete y campo. Involucraron la interpretación de fotos aéreas (escala 1:20.000, décadas de 1.960 y 1.980), imágenes satelitales (*Google Earth*, *Bing*, *Here* y ESRI), consulta de informes técnicos y periódicos de la ciudad de Tandil, datos meteorológicos del Servicio Meteorológico Nacional (= SMN) y aportados por residentes en áreas rurales, reconocimiento y caracterización en el terreno y consultas a vecinos en los sectores de producción de los procesos. Los resultados indican que estos procesos afectan componentes geológicos y geomorfológicos en contextos rurales y urbanos/suburbanos. En sectores no produjeron daños a las actividades humanas; otros, en conflicto con las mismas, generaron perjuicios principalmente, en el ámbito urbano/suburbano. Parte de los procesos es consecuencia directa de actividades humanas, impulsando movimientos que, en momentos previos no existían. Dichos procesos y su recurrencia indican amenaza y, en otros casos, riesgo.

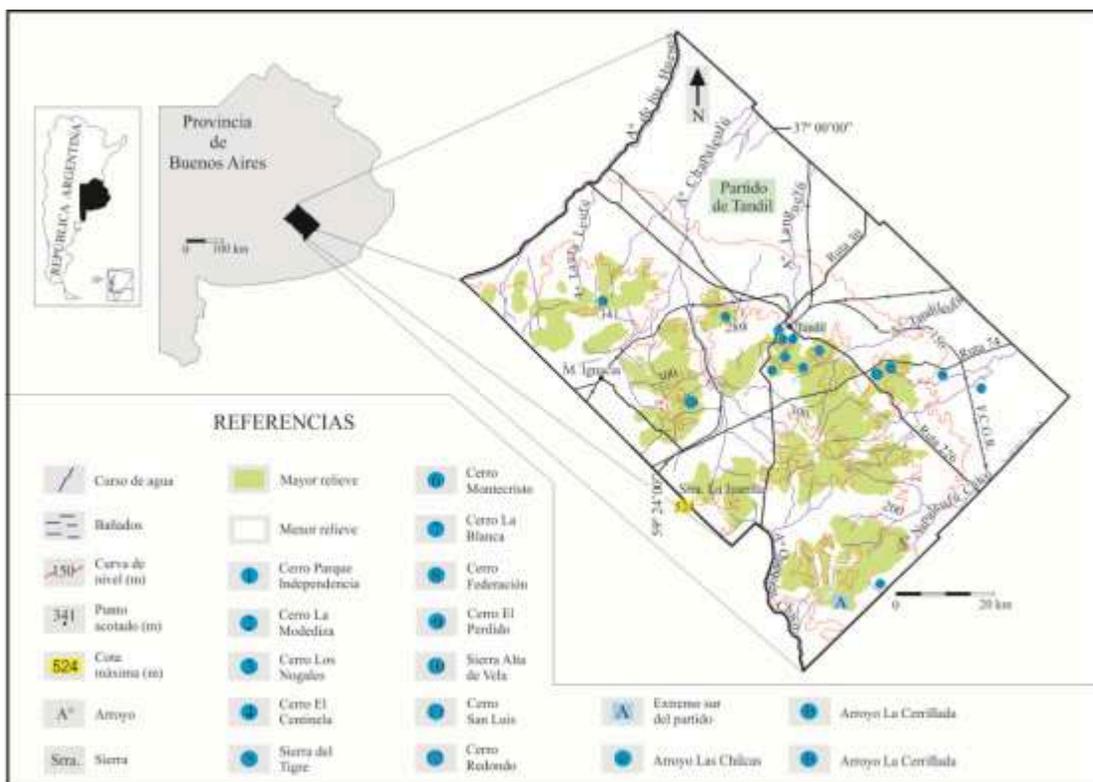
PALABRAS CLAVE: Procesos exógenos, amenaza, riesgo, ambiente, Tandilia

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos geomorfológicos de remoción en masa (= movimientos en masa, = movimientos de ladera), movilizan materiales en la superficie por acción de la gravedad. Los materiales agrupan rocas, detritos de rocas y componentes producto de actividades humanas, con agua y/o hielo en proporciones variables. Caracterizan regiones de relieve importante, con potenciales morfogenéticos elevados, pero no se desconocen en áreas de relieve más exiguo. Forman parte del amplio espectro de procesos que operan en la superficie, destruyendo y construyendo rasgos, a través de mecanismos de ruptura, movilización y acumulación. Suelen presentar tal actividad, que las formas resultantes dominan el paisaje y en ocasiones, constituyen riesgo para las personas y/o sus bienes.

El partido de Tandil se ubica hacia el SE de la provincia de Buenos Aires y cubre una superficie de unos 4.900 km² (Fig. 1). Una parte corresponde a contextos urbanos/suburbanos y la mayor parte a rurales. El uso del espacio físico en Tandilia y en el partido en particular ha ido en aumento producto de actividades industriales, agropecuarias, deportivas, turísticas, culturales y urbanísticas. No obstante, parte de ellas se desarrollan en entornos morfológicos de amenaza y riesgo de movimientos en masa.

Figura 1. Ubicación del área.



Fuente. Elaboración propia.

Los procesos se produjeron en espacios públicos, como paseos turísticos, calles de la ciudad de Tandil, caminos y cursos de agua. Otros, en el ámbito rural y urbano se reconocieron en contextos privados. Parte de las actividades (mineras y viales), además de modificar el medio físico favorecen la inestabilidad de los materiales geológicos, e impulsan en sectores, el desarrollo de los procesos. Estos, inexistentes en el mismo lugar en momentos previos a las actividades referidas, ponen en riesgo la integridad de la población. El conocimiento de los movimientos en masa es importante para establecer pautas vinculadas al uso de las tierras y la consideración de la información que se vaya obteniendo, permitirá generar mecanismos más eficientes de planificación.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Se realiza un diagnóstico de los procesos de remoción en masa en el partido de Tandil, el que involucra: reconocer, caracterizar y analizar la distribución, recurrencia, probables mecanismos de producción y consecuencias ambientales. Para su concreción se efectuaron tareas de gabinete y campo. En gabinete se interpretaron rasgos producto de remoción en masa a partir de fotos aéreas (escala 1:20.000), décadas de 1.960 y 1.980, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires, e imágenes satelitales (*Google Earth*, *Bing*, *Here* y *ESRI*). Se consultaron informes técnicos y periódicos de la ciudad de Tandil (respecto a daños por estos procesos en sectores de la ciudad con antiguas galerías subterráneas, producto de actividad minera y conocidas localmente como “minas de arena”) y registro de lluvias del SMN. En el terreno se amplió el registro a partir de información aportada por residentes en áreas rurales, se caracterizaron rasgos de remoción en masa, consultándose a vecinos en sectores de producción. Las consultas apuntaron a estimar la fecha de generación de algunos de los movimientos, lo que permitió establecer en casos, una mejor aproximación a su edad.

3. CONTEXTO FÍSICO

En este apartado se caracteriza el medio físico (relieve, hidrografía y geología) asociado a los procesos de remoción en masa reconocidos. La primera está integrada por los cuerpos serranos y sus laderas de detritos. Con 524 msnm, la Sierra La Juanita es

no solo su mayor altura, sino también la del sistema de Tandilia. Se localiza al sur del partido, en el límite con la jurisdicción de Benito Juárez.

Figura 2. Zonas características del relieve. 2.a. (A): Zona de mayor relieve. (B): Zona de menor relieve. 2.b. (A) y (B) ídem anterior.

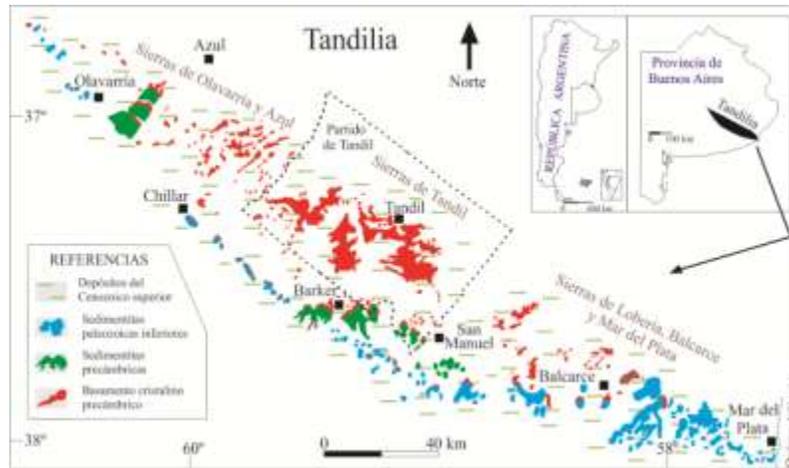


Fuente. Elaboración propia.

Considerando el relieve, dos zonas bien definidas (cuya representación general se muestra en la Fig.1), caracterizan el partido, una de mayor y otra de relieve más exiguo (Fig. 2). En la ciudad de Tandil y adyacencias, los cuerpos serranos presentan entre algo menos de 300 m a un poco más de 500 m de altura. Entre ellas las de los cerros Parque Independencia (286,5 m), La Movediza (294,6 m), Los Nogales (314,9 m), El Centinela (unos 330 m), Montecristo (396 m), La Blanca (501,9 m) y Sierra del Tigre (389 m). Más lejos de la ciudad se ubican los cerros Federación (289 m), Redondo (308,6 m), El Perdido (341 m) y San Luis (435,4 m). Hacia el sector SO del partido, Sierra Alta de Vela presenta alturas de unos 484,7 m y al S del mismo, en las cabeceras del Arroyo Quequén Chico el Cerro Campo Teresita alcanza unos 400 m y cerros de unos 470 m, se ubican en cercanías de Sierra La Juanita. A partir del pie de las laderas de detritos se desarrolla la zona de menor relieve, a la que denominamos Franja Eólica Periserrana (= FEP), de amplia distribución hacia el NE de la anterior (Fig. 1). Se integra superficialmente por depósitos eólicos antiguos, y se caracteriza por lomadas de escasa altura la que va disminuyendo en la misma hacia las partes distales y áreas deprimidas adyacentes.

Dos direcciones de drenaje principales se establecen en el partido (Fig. 1). Una hacia el NE, transporta los excedentes hídricos a través de las cuencas de drenaje de los arroyos de los Huesos, Chapaleofú, Langueyú, Tandileofú, Las Chilcas y Napaleofú Chico. La restante traslada las aguas hacia el S, a través de las cuencas de los arroyos Quequén Chico, y Quilacinta tributarias de la del Río Quequén Grande.

Figura 3. Contexto geológico de Tandilia



Fuente. La Geología de las secuencias rocosas precámbricas y paleozoicas fue tomada de Poiré y Spalletti (2005)

El partido de Tandil forma parte de una unidad morfoestructural denominada Tandilia (Nágera, 1940), (Fig. 3). Específicamente, la geología se integra por un basamento cristalino (= BC), de edad precámbrica (mas de 600 millones de años), denominado Complejo Buenos Aires (Marchese y Di Paola, 1975), de distribución importante e integrado por rocas ígneas¹ y metamórficas² (Dalla Salda *et al*, 2005). Por sobre este, se desarrollan sedimentitas³ precámbricas que integran el Grupo Sierras Bayas (Poiré, 1993; Poiré y Spalletti, 2005), designadas en adelante SGSB. Su génesis es marina y se ubican en el área de Sierra La Juanita y cerros aledaños y en el extremo S del partido. A estas secuencias le continúan depósitos asignados al Cenozoico⁴ superior (Cubierta Sedimentaria Cenozoica), de génesis continental, integrantes de los Sedimentos Pampeanos y Sedimentos Postpampeanos (Fidalgo *et al*, 1975). Dentro de los primeros Rabassa (1973), diferencia dos unidades litoestratigráficas: Formación

¹ Rocas formadas en superficie o debajo de ella a partir de la consolidación de materiales fundidos.

² Rocas generadas al estado sólido por cambios de presión y temperatura en rocas preexistentes.

³ Roca sedimentaria (originada por destrucción de rocas preexistentes) consolidada.

⁴ Hace referencia a la Era Cenozoica, la más reciente en la historia geológica de la Tierra.

Barker y Formación Vela. En los restantes reconoce, de génesis eólica: Formación Las Ánimas, y aluvial: Formación Tandileofú y Aluvio. A estas agregamos los detritos de ladera de los cerros modelados en el BC y SGSB. Se integran por fragmentos rocosos derivados de la erosión de dichas secuencias asociados a depósitos eólicos antiguos.

4. MATERIALES AFECTADOS POR LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

Los materiales afectados agrupan aquellos cuya génesis es geológica y otros, producto de actividades humanas. Los primeros integran rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias (sedimentos = sueltos y sedimentitas = consolidadas). Los restantes, materiales de construcción y, en sectores, producto de deshecho. Considerando su comportamiento geomecánico ante la adición de agua, los geológicos son de dos tipos: roca y regolito. La roca es un agregado sólido, que no evidencia cambios significativos por adición de agua. El regolito es un material suelto y muestra cambios importantes cuando se le proporciona agua. Las rocas se ubican fundamentalmente en el ámbito serrano, de mayor relieve. El regolito, caracteriza las laderas de detritos y con mayor extensión, la zona de suave relieve. Los materiales son autóctonos (generados en el lugar) y alóctonos (provenientes de otras áreas). Las rocas son autóctonas y el regolito se compone de productos autóctonos (por destrucción de rocas del BC, SGSB y derivados de actividades humanas) y alóctonos (sedimentos eólicos antiguos).

5. RECURRENCIA DE LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

La recurrencia (o repetición) de un proceso de remoción en masa es la producción de uno nuevo en un rasgo del paisaje, con evidencias de movimientos previos. El rasgo puede ser producto de procesos geológicos con poca a ninguna afectación por acción antrópica, o de actividades humanas. La recurrencia puede afectar parte o la totalidad de un movimiento previo, o producirse en aquel rasgo del paisaje, sin afectar las formas producto de movimientos previos; procesos que llamamos reactivación en sentido estricto y amplio, respectivamente. La recurrencia objetiva de los movimientos en masa se obtuvo del análisis de fotos aéreas e imágenes satelitales con distinta fecha de una misma zona, a partir del relevamiento en el campo de una localidad en distintas fechas, notas en periódicos, consultas a vecinos en sectores con rasgos de movimientos y

verificación posterior. La recurrencia inferida de los procesos implica considerar que no todos los movimientos, que observamos en un componente geomorfológico del paisaje, se han generado en un único evento. Algunos de tales componentes asociados o no con actividades humanas, presentan tal cantidad de evidencias de movimientos, que resulta improbable que se hayan originado al mismo tiempo.

6. TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA RECONOCIDOS

Los movimientos reconocidos que tratamos fueron clasificados a partir de Summerfield (1991), EPOCH (1993) y GEMMA (2007). Agrupan deslizamientos, flujos, caídas, vuelcos, subsidencias y complejos. En un deslizamiento los materiales se mueven a partir de superficies definidas: onduladas, planas, cóncavas, o por intersección de fracturas, generando deslizamientos traslacionales, planares, rotacionales y en cuña, respectivamente. Un flujo implica deformación de materiales y falta de planos definidos. En una subsidencia la superficie del terreno se moviliza hacia abajo de forma lenta (asentamiento) o rápida (colapso). Una caída implica movilización de materiales en caída libre. Un vuelco es producto de la rotación de los materiales en torno a un eje dado por su centro de gravedad. En un movimiento complejo el tipo de movimiento inicial se transforma en otro al ir moviéndose ladera abajo.

7. COMPONENTES MORFOLÓGICOS AFECTADOS POR LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

En este apartado se trata la distribución de los procesos considerando el relieve y la geomorfología, excluyéndose aquellos, producto de actividades humanas (Fig. 4). Los movimientos afectan la zona de mayor y menor relieve, produciéndose en la primera, en componentes morfológicos de mayor jerarquía representados por sierras y cerros modelados en secuencias del BC y SGSB y sus laderas asociadas.

Dentro de ellos, afectan rasgos de jerarquía menor integrados por laderas de detritos, frentes escarpados rocosos, antiguos frentes de meteorización⁵⁻⁶ y geoformas menores en BC, y laderas de detritos y frentes escarpados rocosos en SGSB. En la zona de menor relieve afectan principalmente cursos de agua y cárcavas mayores modelados en la FEP.

⁵ La meteorización es un proceso geológico que fragmenta y descompone las rocas “*in situ*”.

⁶ Un frente de meteorización es el contacto entre las rocas meteorizadas y no meteorizadas.

Figura 4. Componentes morfológicos afectados y malcriales movilizados por procesos de remoción en masa. 4.a. En la zona de mayor relieve. 4.b. En la de menor relieve. CMJ: Componente morfológico de mayor jerarquía.

a	Mayor relieve		b	Menor relieve	
CMJ	Componente de menor jerarquía	Materiales afectados	CMJ	Componente de menor jerarquía	Materiales afectados
Sierras y cerros en basamento cristalino	Laderas de detritos	Regolito	Franja Eólica Periserrana	Cursos de agua	Regolito y antrópicos
	Frentes escarpados rocosos	Roca			
	Antiguos frentes de meteorización				
	Geoformas menores				
Sierras y cerros en SGSB	Laderas de detritos	Regolito	Cárcavas	Regolito	
	Frentes escarpados rocosos	Roca			

Fuente. Elaboración propia.

7. 1. Zona de mayor relieve

7.1.1. Sierras y cerros modelados en el BC y laderas de detritos asociadas

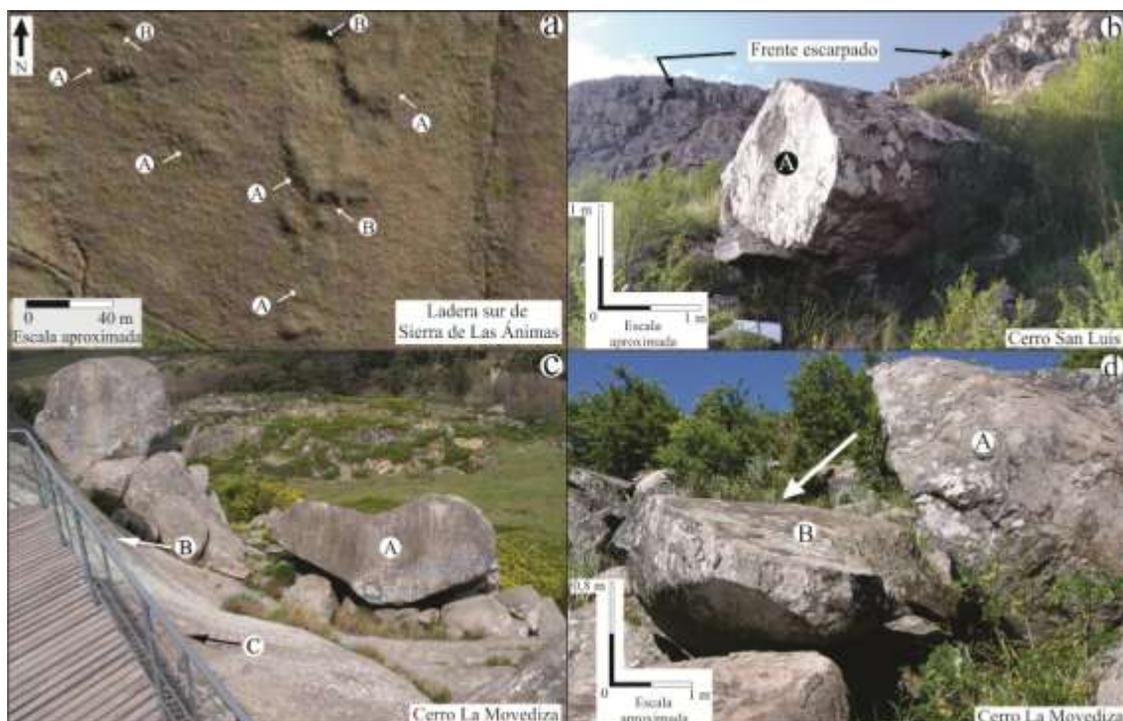
En laderas de detritos de estos cuerpos, los procesos de remoción en masa se reconocieron principalmente en el área de la ciudad de Tandil (ladera S de Sierra de Las Ánimas) y sectores de los cerros Redondo y San Luis, estos últimos a unos 7 km al NE de dicha ciudad. En la ladera S de Sierra de Las Ánimas (unos 5,5 km al SE del centro de la ciudad) a lo largo de unos 1,7 km, se registran evidencias de estos procesos (Fig. 5.a). Agrupan lomadas, depresiones y zonas de arranque, bloques en superficie y, en sectores, conos de talud⁷. En los cerros referidos en segundo término se diferencian formas similares. En todos los casos, los rasgos generados presentan menor desarrollo que los diferenciados en laderas de detritos de las SGSB. Las pendientes de las laderas, la meteorización de los materiales y la acción del agua actuarían como mecanismos de producción de los movimientos reconocidos.

A partir de frentes escarpados, los movimientos en masa se reconocieron entre tantos otros, en el tramo S de la Sierra de Las Ánimas y sectores de Sierra Alta de Vela, área de Cantera Tartagal y cerros aledaños y cerros Redondo y San Luis (Fig. 5.b). Los

⁷ Rasgo con aspecto de cono, ubicado al pie de un frente escarpado y formado por la acumulación de materiales movilizados por procesos de remoción en masa desde dicho frente.

materiales movilizados desde los frentes se acumulan al pie de los mismos o en sus cercanías. En el sector S de Sierra de Las Ánimas, se conservan grandes bloques movilizados a partir de un frente escarpado por caídas y algunos por vuelcos. Deslizamientos planares de rocas se diferenciaron en el área de Cantera Tartagal y cerros aledaños, a unos 8 km al O del sector céntrico de la ciudad de Tandil. Las pendientes pronunciadas, desarrollo de fracturas, meteorización y acción del agua (en casos), serían probables mecanismos vinculados a la generación de estos procesos.

Figura 5. Morfología asociada a movimientos en masa. 5.a. (A): Lomadas. (B): Zonas de arranque de materiales. 5.b. (A): Bloque movilizado desde el frente. 5.c. (A): Fragmento mayor de la Piedra La Movediza, desplazada por un movimiento el 29/02/1912. (B): Frente antiguo de meteorización. (C): Utilice la baranda como escala. 5.d. (A): Forma menor afectada por un movimiento en masa (vuelco), (B): Fragmento movilizado. La flecha señala la dirección del movimiento.



Fuente. Elaboración propia.

Una antigua superficie topográfica (paleosuperficie) (Demoulin *et al*, 2005), expone frentes de meteorización, rasgos comunes en Tandilia. En ellos, yacen bochones (redondeados) y bloques (irregulares) colgados correspondientes a rocas liberadas de un manto de meteorización⁸ asociado a la paleosuperficie. El bloque colgado más famoso fue la Piedra Movediza, ubicada en el Cerro La Movediza, unos 3,5 km al NO de la

⁸ Espesor de rocas alteradas por procesos de meteorización química fundamentalmente, asistidos por meteorización física.

ciudad de Tandil. Esta, en equilibrio inestable y con movimiento (*rocky stone*), fue de gran atractivo turístico, y contó además con la visita de naturalistas de renombre mundial. La misma, fue desplazada por un movimiento en masa en la segunda década del siglo XX y sus fragmentos yacen a escasos metros debajo de su posición original (Fig. 5.c). Los mecanismos asociados al movimiento que la afectó incluyen la posición inestable, desgaste por meteorización y movimiento. La probable intervención del hombre en su desplazamiento fue referida por el Hage y Levy (2007).

Los movimientos en masa asociados a formas menores afectaron bloques y bochones ubicados en superficie y otros afloramientos. Se produjeron a partir de sectores de rocas debilitados por meteorización y se reconocieron en el Cerro La Movediza, Estancia Milla Curá, Sierra de Las Ánimas, área de Cantera Tartagal y cerros aledaños, Posada María Para Todos y Cerro San Luis. Agrupan vuelcos, caídas y deslizamientos planares, caracterizados por volúmenes escasos (en general menores a 2 m³) de materiales desplazados y corta distancia (menor a 3 m) recorrida (Fig. 5.d). La meteorización en fracturas latentes disminuye la resistencia de los materiales, siendo un proceso importante asociado a la producción de estos movimientos.

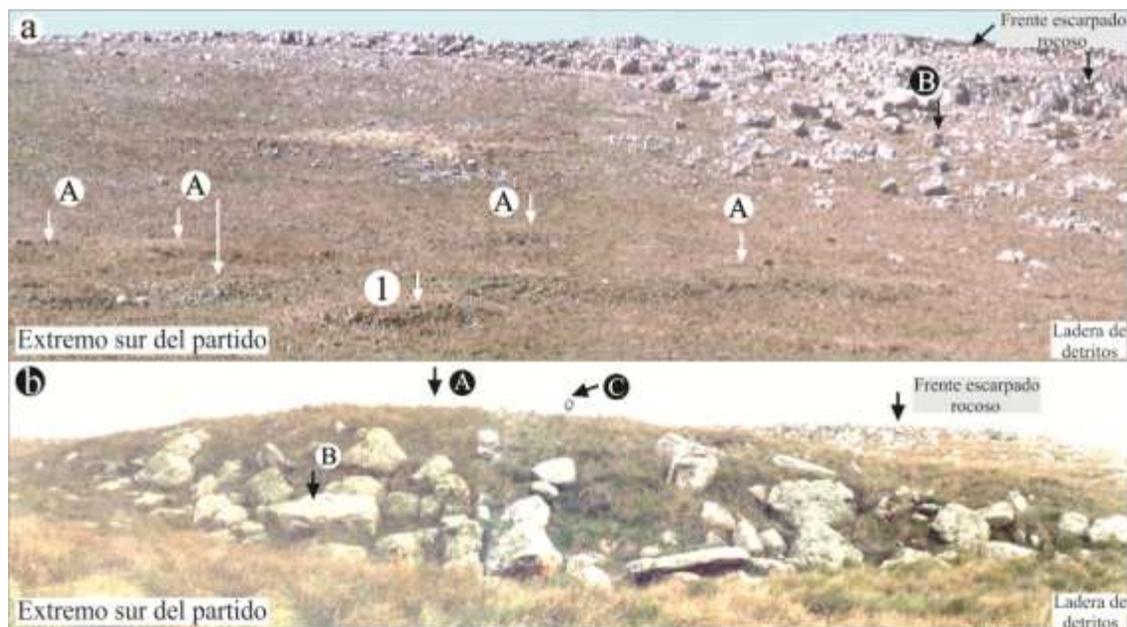
7.1.2 Sierras y cerros modelados en SGSB y laderas de detritos asociadas

En estos componentes ubicados en la zona de mayor relieve se desarrollan específicamente, en laderas de detritos y frentes escarpados rocosos (Fig. 6).

En laderas de detritos del extremo sur del partido y cerros aledaños a Sierra La Juanita, se identificaron movimientos en masa “antiguos” y “recientes” (Gentile *et al*, 2017). Los “antiguos”, representados en fotos aéreas de la década del ochenta agrupan: a. movimientos en masa ya expresados en fotos aéreas de la década del 60 y b. producidos en el intervalo 12/12/66 – 18/08/81, en cerros aledaños a Sierra La Juanita. Los “recientes” integran: a. movimientos producidos hacia fines de agosto – comienzos de septiembre de 2001, en sectores del extremo sur del partido, b. Generados en fechas próximas (previas o posteriores) a la anterior, c. posteriores a la fecha ya referida para serranías del extremo sur del partido y de extensión muy localizada. Agrupan deslizamientos rotacionales, traslacionales, flujos y complejos. La acción del agua habría actuado como mecanismo disparador de los movimientos “recientes” y aquellos producidos en el intervalo 12/12/66-18/08/81. Asimismo, otros “antiguos” también muestran evidencias de haberse producido por acción del agua (Gentile, 2011).

Los frentes escarpados rocosos son rasgos característicos de los cerros modelados en SGSB (Fig. 6). Se ubican en general, hacia las partes elevadas de las sierras y cerros, pudiendo presentarse uno bien definido, sin embargo, en la gran mayoría de los casos se desarrollan dos principales y en otras oportunidades más de dos. Pueden tener una continuidad lateral del orden de kilómetros y su altura es variable, desde alrededor de 1-2 m, hasta unos 8-10 metros. Presentan pendientes verticales/subverticales y, en algunos tramos de más de 90°, estas, coincidentes en general con superficies de estratificación. Las pendientes pronunciadas, fracturas, meteorización y agua actuarían como mecanismos de producción de los movimientos de tipo caída y vuelco diferenciados.

Figura 6. Rasgos producidos por procesos de remoción en masa. 6.a. (A): Lomadas antiguas. (B): Bloques movilizados desde los frentes. (I): La altura del frente de la lomada I es de unos 1,8 metros. 6.b. (A): Lomada generada por antiguos movimientos. (B): Bloques movilizados. Utilice como escala aproximada la persona señalada en (C).



Fuente. Elaboración propia.

7.2. Zona de menor relieve

En este ámbito que se extiende a partir del pie de las laderas de los cuerpos serranos, los movimientos en masa afectan rasgos y litologías integrados los primeros por escarpas erosivas (barrancas) de cursos de agua (Fig. 7) y cárcavas y las restantes por regolito.

El regolito se compone de depósitos eólicos, aluviales y en ocasiones materiales producto de actividades humanas. Los movimientos en masa son de escasas

dimensiones (3 – 5 m de longitud). Se reconocieron deslizamientos rotacionales (Fig. 7.a), caídas (Fig. 7.b) y vuelcos.

Figura 7. Procesos de remoción en masa en cursos de agua. 7.a. (A): Zona de arranque de materiales. (B): Deslizamiento rotacional. (C): Escarpa. 7.b. (A): Idem anterior. La línea de trazos indica el límite aproximado del movimiento.



Fuente. Elaboración propia.

La meteorización de los materiales de las barrancas actuaría como mecanismo preparador. El incremento del agua aumentando la presión de poros y socavando la base de las barrancas lo haría como un mecanismo disparador.

Figura 8. Procesos de remoción en masa y actividades humanas. Discriminadas por obra y materiales afectados. Fuente.

Actividades humanas		
Tipo de actividad	Tipo de obra	Materiales afectados
Minera	Galerías subterráneas	Principalmente regolito, y antrópicos
	Frentes de explotación	Roca y regolito
Vial	Frentes escarpados	Roca y regolito
	Excavaciones	Roca, regolito y antrópicos
	Yacencia horizontal	Antrópicos

Elaboración propia.

8. PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA Y ACTIVIDADES HUMANAS

Parte de los procesos de remoción en masa diferenciados, se asocia, a dos tipos de actividades: minera y vial. La primera a través de la construcción de antiguas galerías subterráneas y frentes de explotación. La restante a la generación de frentes escarpados,

excavaciones al costado de caminos y obras de yacencia horizontal. Los procesos considerados, vinculados con actividad minera y vial movilizan en conjunto, roca, regolito y materiales de origen antrópico (Fig. 8).

8. 1. Actividades mineras

Con la extracción de “granito” (Angelelli, 1975), término usado para hacer referencia a rocas ígneas y metamórficas del BC, se inicia hacia 1870 la producción minera en Tandil, mediante labores extractivas para la elaboración de adoquines y cordones (Caballé y Kirilovsky, 2004). Esta actividad se habría iniciado en Cerro Leones, unos 7 km al O de dicha ciudad (Caballé *et al*, 2004). No obstante, durante la segunda mitad del siglo XIX y parte del XX, el subsuelo de la ciudad fue objeto de una explotación de menores proporciones, de materiales de origen sedimentario, integrantes de depósitos fluviales sepultados (paleocauces). Esta actividad generó galerías subterráneas conocidas localmente como “minas de arena” (Gentile y Villalba, 2008; Gentile y Ribot, 2015).

Temporalmente, la minería vinculada a procesos de remoción en masa corresponde a actividad minera 1) antigua: galerías subterráneas antiguas y frentes de explotación a cielo abierto abandonados y 2) actual: frentes de explotación a cielo abierto.

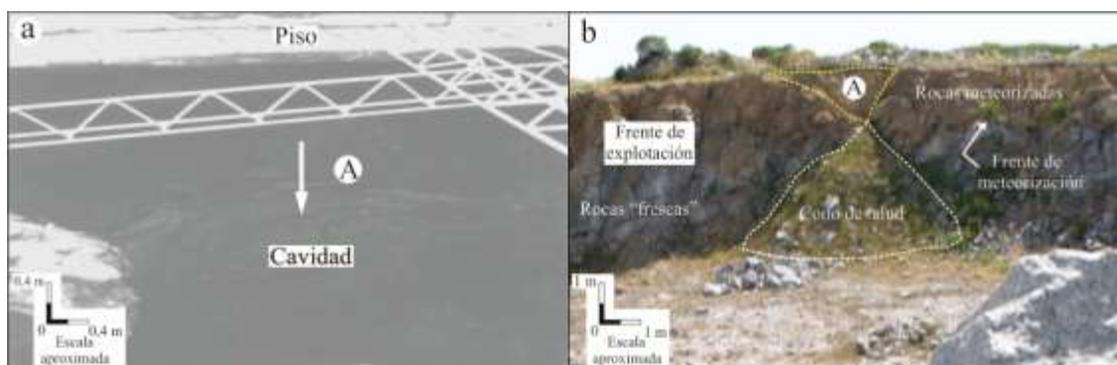
Distintos sectores en áreas urbanas y suburbanas de la ciudad de Tandil, ubicados sobre las antiguas “minas de arena”, fueron afectados por movimientos de tipo subsidencia (Summerfield, 1991), (Fig. 9.a). Agrupan colapsos por cavidades en el subsuelo y asentamientos (Gentile y Villalba, 2008; Gentile, 2013). La construcción de las galerías produjo un debilitamiento del regolito suprayacente. La extracción, la acción del agua por debajo de la superficie topográfica, meteorización y sobrecarga, serían al menos causantes de los procesos referidos (Gentile y Susena, 2018).

En distintos sectores del partido, se preservan frentes de explotación no activos en canteras a cielo abierto, que representan rasgos favorables a remoción en masa. Actividades mineras actuales a cielo abierto, han generado frentes de explotación de pendientes verticales/subverticales. Estas últimas, sumado a la presencia de fracturas, materiales meteorizados, acción del agua y posiblemente vibraciones por explosiones actuarían favorablemente para generar movimientos en masa (caídas), (Fig. 9.b).

8.2. Actividades viales (Trazas de caminos)

Una de las obras generadas por actividades humanas en trazas de caminos son los frentes escarpados. Estos, resultan de desmontes producidos en lomadas del paisaje, con el objeto de disminuir la pendiente de la traza, o para alcanzar en caminos vecinales, superficies con mejores características para el tránsito. Los frentes presentan pendientes verticales - subverticales y se asocian a roca, regolito, o una combinación de ellos, en ocasiones con materiales producto de actividad antrópica. Los desarrollados en roca afectan secuencias del BC y en regolito depósitos sedimentarios del Cenozoico superior.

Figura 9. Procesos de remoción en masa y actividades mineras. 9.a. Escuela en la ciudad de Tandil. (A): Colapso de un piso por una cavidad en el subsuelo. La flecha indica la dirección del movimiento. 9.b. Cantera en actividad en la zona rural. (A): Zona de arranque de materiales por movimientos en masa.



Fuente. Elaboración propia.

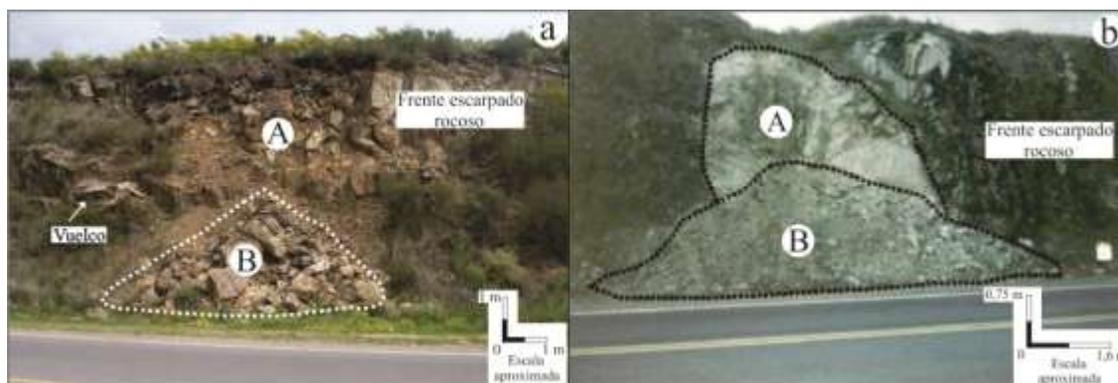
A partir de frentes escarpados en el BC, los procesos de remoción en masa afectaron principalmente rocas y muy escasos volúmenes de regolito superficial, integrado por detritos producto de alteración del BC, asociados a sedimentos eólicos antiguos. El tramo con mayores registros de movimientos corresponde a una lomada ubicada en el Km 160 de la Ruta 226 (Fig. 10.a), donde, la recurrencia fue determinada a partir del reconocimiento en distintas fechas en ambas márgenes de la ruta.

Otro movimiento en trazas de caminos fue reconocido en el Km 142 de aquella ruta (Fig. 10.b) y en el área de descanso del camino de descenso del Parque Independencia en la ciudad de Tandil, éste último, también con evidencias de recurrencia.

Los volúmenes de rocas afectados son escasos, en general de $0,1 - 0,2 \text{ m}^3$, con máximos cercanos a 1 m^3 para bloques individuales, a unos 8 m^3 para el conjunto de materiales y es reducida (unos 4 m) la distancia recorrida desde los frentes. Se produjeron caídas, vuelcos, deslizamientos en cuña y complejos. Pendientes pronunciadas, fracturas con distinta inclinación (a veces hacia la traza del camino),

meteorización, agua y probablemente en casos, vibraciones por el pasaje de vehículos, actuarían como mecanismos en la producción.

Figura 10. Movimientos en masa en caminos. 10. a. (A): Zona de ruptura. (B): Cono de talud de materiales acumulados. 10.b. (A) y (B): ídem anterior. Nótese en ambos casos la cercanía de los materiales acumulados con la ruta.



Fuente. Elaboración propia.

Los movimientos en masa en frentes escarpados construidos en depósitos del Cenozoico superior afectaron regolito integrado fundamentalmente por sedimentos eólicos antiguos y en mucha menor proporción materiales antrópicos. Estos movimientos se caracterizan por escasos volúmenes (unos 3-4 m³) y limitado desplazamiento (cercano a 4 m) de los materiales involucrados. Algunos de los movimientos que fueron reconocidos afectaron frentes escarpados en secuencias del basamento cristalino y la Cubierta Sedimentaria Cenozoica. En conjunto se produjeron caídas y movimientos complejos. La acción del agua y meteorización de los materiales actuarían como mecanismos de producción de los procesos que consideramos.

Los movimientos registrados que afectaron obras horizontales (cunetas) en trazas de caminos, corresponden a subsidencias. Una deficiente compactación, sobrecarga y acción del agua infiltrada actuarían favoreciendo los movimientos referidos.

Las excavaciones al costado de trazas de caminos para extracción de materiales generaron paredes de pendientes verticales/subverticales. En algunas de ellas se registraron movimientos en masa de tipo caída. La meteorización y acción del agua actuarían como mecanismos que favorecerían la producción de dichos procesos.

9. DAÑOS, AMENAZA Y RIESGO DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA

Los daños producidos por los procesos de remoción en masa en distintas zonas del partido de Tandil se relacionan con los sectores de producción de los mismos.

No se mencionaron daños en frentes escarpados y laderas de detritos en cerros modelados en BC. A partir de antiguos frentes de meteorización, el movimiento que desplazó a la Piedra Movediza de su posición original en la segunda década del siglo XX (29/02/1912), produjo un daño mayor, de muy fuerte impacto al patrimonio geomorfológico y además turístico de Tandil. Los movimientos que afectaron formas de escasas dimensiones en el BC generaron perjuicios menores de índole similar.

En las laderas de detritos de cerros modelados en SGSB no se identificaron daños. No obstante, en el área de Sierra La Juanita, en sectores del partido de Benito Juárez y a escasos centenares de metros del límite con el de Tandil, se produjeron daños en alambrados producto de estos procesos (Gentile, 2016). Una carencia de daños se asocia a los frentes escarpados de estos cerros, como a los movimientos producidos en escarpas erosivas de canales y cárcavas en la zona de relieve suave.

Los procesos de remoción en masa en caminos (desvinculados de áreas con “minas de arena”), producto de actividad antrópica afectaron frentes escarpados y, en mucha menor proporción obras de construcción horizontal (cunetas). La acumulación de materiales movilizadas al pie de los frentes genera perjuicios económicos (al igual que la remediación de cunetas) al municipio, ya que deben ser retirados. Los procesos vinculados con actividades mineras antiguas que generaron las “minas de arena”, en el subsuelo de la ciudad de Tandil, son los que mayores perjuicios provocaron. Se produjeron subsidencias (colapsos por cavidades y asentamientos) en viviendas, calles, predios y una pequeña pista de aterrizaje. Causaron fracturas en paredes, cielorrasos, dinteles, piscinas, inclinación y compresión de marcos de ventanas y puertas, problemas de cierre, inclinación de paredes y despegue de pisos. Además de perjuicios económicos y en ocasiones dificultades en el normal desarrollo de actividades, en casos se demolió parte o la totalidad de viviendas. Por haber cedido un piso durante una construcción tres operarios debieron ser rescatados por bomberos (Gentile y Villalba, 2008).

La amenaza o peligrosidad geomorfológica es la probabilidad de que un proceso de remoción en masa (en este caso) tenga lugar, el riesgo geomorfológico, se refiere al daño provocado a personas o a sus bienes consecuencia de su accionar.

La recurrencia de los movimientos en masa es una manifestación de la amenaza de estos procesos. No necesariamente la evidencia de movimientos pasados en un área, indica la posibilidad de futuros. No obstante, los movimientos tienden a producirse

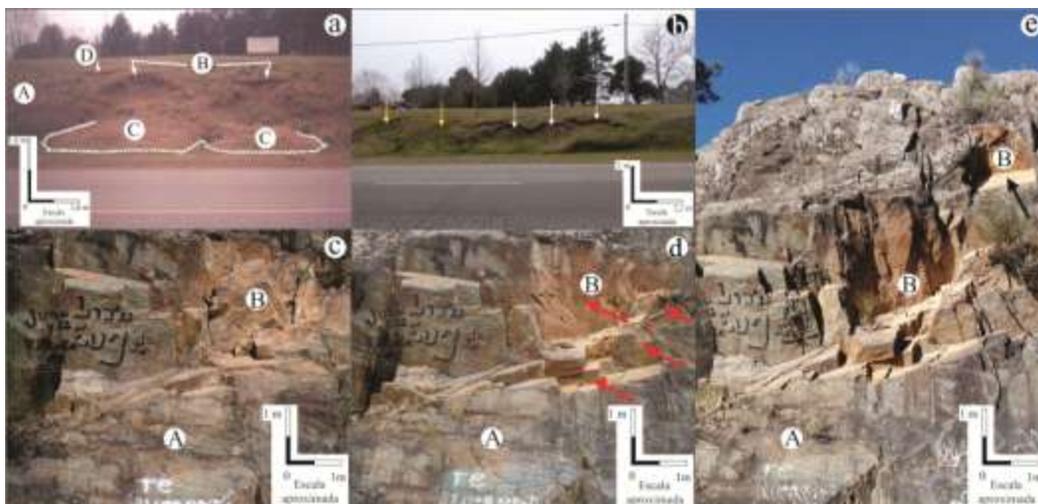
dentro, en las vecindades de otros o en las mismas laderas, sugiriendo que ubicar rupturas pasadas, es clave para entender la ocurrencia futura de movimientos (Cardinali *et al*, 2002). Lo referido por estos autores se identificó en sectores del partido, ya que, nuevos movimientos se generaron en áreas que ya contaban con previos.

La Fig. 11, ejemplifica el concepto de recurrencia en frentes escarpados producto de actividad antrópica en caminos de la ciudad de Tandil. La Fig. 11.a es una foto del 29/7/2006 tomada en la Avenida Estrada, unos 150 m al SO de la intersección con la Avenida San Gabriel. Se observan dos movimientos (B: zona de ruptura, C: materiales acumulados, D: Fractura), afectando regolito desde un frente escarpado (A). Estos movimientos ya existían el 7/1/2006. La Fig. 11.b es una foto del 25/7/2015 (reconocidos inicialmente el 23/7/2015), del mismo sector, donde se observan además, de los viejos movimientos (flechas amarillas) representados en la Fig. 11.a, nuevos procesos de remoción en masa, señalados por las flechas blancas.

La Fig. 11.c, es una foto tomada previamente a julio de 2016, del área de descanso ubicado en el camino de descenso del Parque Independencia. Muestra una cicatriz (B) de un movimiento, afectando un frente escarpado rocoso (A). La Fig. 11.d (foto de julio de 2016), del mismo sector, muestra nuevos movimientos (flechas rojas). La Fig. 11.e (foto del 24/4/2019), muestra un nuevo proceso de remoción en masa (flecha negra).

La amenaza de movimientos en masa en el partido se asocia a diversos componentes geomorfológicos y geológicos. Los primeros integran rasgos de distinta jerarquía en cuerpos serranos del BC y SGSB, formas menores en la zona de suave relieve y diversos componentes producto de actividades humanas. Los geológicos se refieren al tipo de materiales afectados: roca (agregado consolidado) y regolito (agregado suelto).

Figura II. Ejemplos de recurrencia en la ciudad de Tandil. Fuente.



Elaboración propia.

En los cerros del BC, la amenaza de movimientos en masa en tramos de frentes escarpados y laderas de detritos, podría derivar en riesgo en sectores debido a la ocupación futura del área. Un riesgo potencial se manifiesta por la presencia de geformas menores (bloques y bochones) colgadas (*perched boulders*) en antiguos frentes de meteorización de paseos turísticos como el Cerro La Movediza y otros.

Los movimientos en las laderas de detritos de los cerros modelados en SGSB, representados en fotos aéreas de la década del sesenta, sumados a los producidos en el intervalo 12/12/66 – 18/08/81, como a aquellos denominados “recientes” generados a fines de agosto - comienzos de septiembre de 2001, en fechas cercanas a esta última y posteriores (reconocidos el 31/10/03), son indicadores de la amenaza de estos procesos. No se registraron daños en el partido, no obstante, el riesgo potencial es significativo. La amenaza a partir de frentes escarpados en las SGSB podría derivar en riesgo, en sectores donde puedan implementarse prácticas deportivas (escaladas).

La amenaza en frentes escarpados en caminos producto de actividad antrópica en BC en tramos de la Ruta 226, a pesar de los volúmenes reducidos de materiales desplazados, podría derivar en riesgo debido a las cercanías de los frentes con la ruta (Fig. 10.a, b). Los movimientos producidos en distintas fechas en ambas márgenes del Km 160 de dicha ruta, señala el riesgo potencial. Una situación similar se da en el área de descanso en el camino de descenso del paseo Parque Independencia (Fig. 11.c, d, e).

Los daños producidos por movimientos en masa asociados a las “minas de arena”, indican el riesgo en sectores de la ciudad de Tandil. Los movimientos tuvieron lugar en distintos momentos, señalando su operabilidad a través del tiempo. Esto, sumado a la expansión futura de la ciudad hacia zonas con dichas obras y al deterioro de ella a través del tiempo, indica que el riesgo se mantendría. Aquellos que efectuaron la explotación de los depósitos fluviales, que generó fuentes de trabajo -no solo por la extracción de los depósitos sino, como han referido Gentile y Ribot (2015), su uso en ciertas obras- y recursos económicos, lejos estaban de imaginar que años después, se producirían perjuicios ambientales. Los autores citados determinaron que, parte de los materiales extraídos se usaron en la construcción de bóvedas ubicadas en el cementerio municipal de la ciudad citada. Esto, permitió conocer, de acuerdo con la fecha de las bóvedas que contienen los materiales, que la construcción de las “minas de arena” habría comenzado en la segunda mitad del siglo XIX. Esto implica para las “minas de arena” más antiguas, más de un siglo de deterioro por meteorización, caída de materiales desde los techos por

remoción en masa, acción de aguas de infiltración, sobrecarga y otros eventos asociados a actividades humanas, que han ido disminuyendo la resistencia de los materiales.

Los frentes de explotación minera a cielo abierto, antiguos y actuales representan también amenaza de estos procesos, debido a características morfológicas y geológicas.

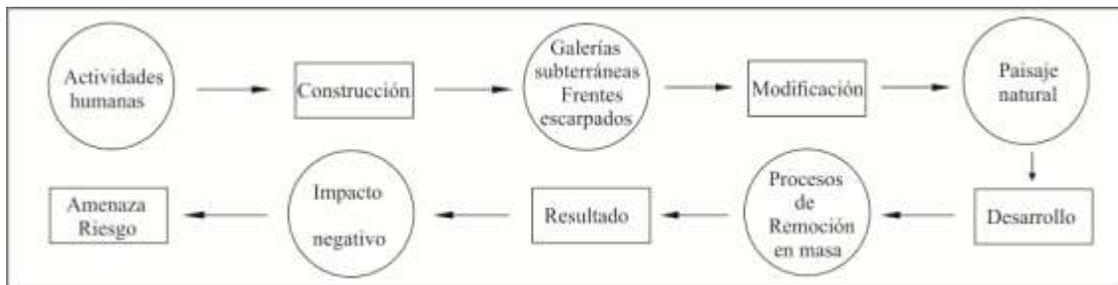
En galerías subterráneas antiguas y frentes escarpados producidos en trazas de caminos específicamente, los procesos de remoción en masa y su recurrencia, se desencadenaron por actividades humanas. Estas, impulsaron el desarrollo de procesos inexistentes previamente a la construcción de dichas obras; subsidencias (colapsos por cavidades en el subsuelo y asentamientos) en galerías subterráneas y caídas, vuelcos, movimientos complejos y en cuña en frentes escarpados en caminos. Como fue referido (Gentile y Susena, 2018), las actividades humanas mediante la construcción de tales obras impulsaron una “reacción en cadena”: el desarrollo de galerías subterráneas y frentes escarpados en caminos causó modificaciones de componentes naturales del paisaje. Posteriormente, se afianzó la generación de nuevos procesos, representados por remoción en masa y en casos, reactivaciones (recurrencia) en sentido estricto y amplio, de los mismos. Esto produjo un impacto negativo ya que aquellas zonas presentan actualmente amenaza y, en ocasiones, riesgo de procesos de remoción en masa (Fig. 12). La inexistencia de estos procesos en momentos de la evolución del paisaje, previos a la afectación por las obras, y con posterioridad, la producción de estos y su recurrencia, provocó un incremento neto de los mismos. Es decir, se aceleró su producción y, aunque de carácter localizado, pueden ser ejemplos de la “gran aceleración geomorfológica” (Bruschi *et al*, 2011).

10. CONCLUSIONES

Los procesos de remoción en masa participan de una manera importante en el modelado del paisaje, en sectores del partido de Tandil. Afectan distintos componentes morfológicos del ambiente natural, patrimonio geomorfológico y producto de actividad antrópica. Constituyen procesos naturales que operan en la superficie terrestre, no obstante, parte de ellos fue impulsado por acción humana, mediante la construcción de trazas de caminos, antiguas galerías subterráneas para extracción de materiales del subsuelo y frentes de explotaciones mineras. Dichos procesos, inexistentes en momentos previos al desarrollo de las obras representan evidencias del impacto producido por dichas actividades. La acción de estos procesos, sumado a la recurrencia

observada en diversos componentes del paisaje, indica amenaza y riesgo. Aunque están presentes en distintos contextos, paradójicamente los perjuicios mayores ocasionados por estos procesos se asocian a la presencia de antiguas galerías subterráneas, producto de actividades humanas. Los componentes del paisaje, con evidencias de estos procesos, deberían ser tratados en su conjunto, con el objetivo de establecer pautas de ordenamiento respecto a la ocupación futura de las tierras.

Figura 12. Actividades humanas y procesos de remoción en masa. Fuente.



Elaboración propia.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angelelli, V. (1975) Yacimientos Minerales y Rocas de Aplicación. *Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino* (pp. 195-217). Bahía Blanca.
- Bruschi, V., Bonachea Pico, J., Remondo Tejerina, J., M. Forte, L., Hurtado, M. y Cendrero Uceda, A. (2011) ¿Hemos entrado ya en una nueva época de la historia de la Tierra?. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. I, n° 105 (pp. 1-12).
- Caballé, M. y Kirilovsky, E. (2004) ¿Minería vs. reserva natural? *Revista del Consejo Profesional de Ciencias Naturales de la Provincia de Buenos Aires*, n° 1 (pp. 6-10).
- Caballé, M., Coriale, N. y Bravo Almonacid, M. (2004) Historia de la Minería Argentina. Provincia de Buenos Aires. E. Lavandaio y E. Catalana. (Eds.), *Anales del SEGEMAR*, vol. II, n° 40 (pp. 305-313). Buenos Aires.
- Cardinali, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Antonini, G., Galli, M., Cacciano, M., Castellani, M. y Salvati, P. (2002) A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, n° 2 (pp. 57-72).
- Dalla Salda, L., De Barrio, R. E., Echeveste, H. J. y Fernández, R. R. (2005) El Basamento de las Sierras de Tandilia. R. E. de Barrio, R. O. Etcheverry, M. F.

- Caballé y E. Llambías (Eds.): *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires, Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino* (pp. 31-50). La Plata.
- Demoulin, A., Zárate, M. y Rabassa, J. (2005) Long-term landscape development: a perspective from the southern Buenos Aires ranges of east central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, n° 19 (pp. 193–204).
- el Hage, E. y Levy, P. (2007) La Piedra Viva. Tandil: Editorial Artes Gráficas A. Bossio.
- EPOCH (1993) Temporal occurrence and forecasting of landslides in the European Community. J. C. Flageollet (Ed.).
- Fidalgo, F., De Francesco, F. O. y Pascual, R. (1975) Geología Superficial de la Llanura Bonaerense. *Relatorio del VI Congreso Geológico Argentino* (pp. 103-138). Bahía Blanca.
- GEMMA (2007) Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas. *Publicación Geológica Multinacional*, n° 4. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas.
- Gentile, R. O. y Villalba, H. A. (2008) Antiguas “minas de arena” y daños en obras (Tandil, Provincia de Buenos Aires). *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, vol. 22 (pp. 13-30). Buenos Aires: ASAGAI.
- Gentile, R. O. (2011) Movimientos en masa en sectores de cabeceras de las cuencas del Río Quequén Grande y arroyos Chapaleofú y Napaleofú (vertientes sur y norte de Tandilia). Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.
- Gentile, R. O. (2013) Deslizamientos en sectores de los partidos de Tandil y Benito Juárez (Tandilia, Provincia de Buenos Aires). *Congreso Internacional sobre Riesgos de Desastres y Desarrollo Territorial Sostenible*. (8 páginas). Catamarca.
- Gentile, R. O. y Ribot, A. M. (2015) Sedimentos fluviales utilizados en obras del patrimonio histórico en la segunda mitad del siglo XIX (Tandil, Provincia de Buenos Aires). *Actas Electrónicas del IV Congreso Iberoamericano y XII Jornadas Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio* (pp: 280-289). La Plata.
- Gentile, R. O. (2016) Movimientos en masa y Riesgos Asociados (Tandilia, Provincia de Buenos Aires). *Actas de las III Jornadas Nacionales y I Internacionales del Ambiente* (pp. 480-482). Tandil.

- Gentile, R. O., Kruse, E., Giaconi, L. y Susena, J. M. (2017). Movimientos en masa producidos en el intervalo 12/12/66 – 18/08/81 (Área de Sierra La Juanita y alrededores, Provincia de Buenos Aires). *Actas del XX Congreso Geológico Argentino* (pp. 56-61). San Miguel de Tucumán.
- Gentile, R. O y Susena, J. M. (2018) Recurrencia de movimientos en masa (Partido de Tandil, Provincia de Buenos Aires). *Actas electrónicas de las II Jornadas Internacionales y IV Jornadas Nacionales de Ambiente* (pp. 659-662). Tandil.
- Marchese, H. G. y Di Paola, E. (1975) Reinterpretación estratigráfica de la Perforación de Punta Mogotes I, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, vol I, n°30 (pp. 44-52).
- Nágera, J. (1940) Historia física de la provincia de Buenos Aires, 1. Tandilia. *Biblioteca de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata*.
- Poiré, D. G. (1993) Estratigrafía del Precámbrico sedimentario de Olavarría, Sierras Bayas, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Actas del XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, vol 2, (pp. 1-11). Mendoza.
- Poiré, D. G. y Spalletti, L. (2005) La Cubierta Sedimentaria Precámbrica - Paleozoica Inferior del Sistema de Tandilia. R. de Barrio, R. Etcheverry, M. F. Caballé y E. Llambías (Eds.), *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires, Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino* (pp: 51-68). La Plata.
- Rabassa, J. (1973). Geología superficial en la Hoja "Sierras de Tandil". *Anales del LEMIT*, n° 3 (pp. 115-160). La Plata.
- Summerfield, M. A. (1991). *Global Geomorphology*. London: Longman.