

Revista Semestral de la Facultad de Ingeniería  
de la Universidad Nacional de Cuyo  
Mendoza - República Argentina

I.S.S.N. 0326-1220

AÑO XIX - NÚMERO **41**  
JUNIO 2000

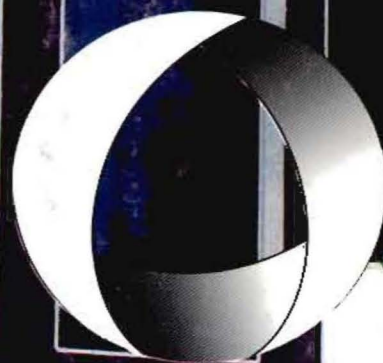
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Revista de  
la Facultad  
de Ingeniería**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**

Publicación Científico-Técnica de Ingeniería para Profesionales Universitarios  
Disponible bajo formato PDF en el sitio <http://ing.uncu.edu.ar/noticias/index.htm>

*En acción continua...*





# Normativas

- Los autores solicitarán por nota la publicación de sus trabajos, acompañando el artículo en zip o Cd más dos copias impresas en papel.
- Los contenidos serán de naturaleza técnico-científica del área de la ingeniería; originales, innovadores y en lo posible, inéditos. En este último caso, si hubieran sido ya editados, junto a los detalles de su publicación se acompañarán de la autorización expresa del editor anterior para poder reproducirlos. Podrán tener cabida presentaciones a congresos y monografías que reúnan las características señaladas, como asimismo la puesta al día de conocimientos, artículos de revisión y comentarios a trabajos científicos, siempre que no se trate de mera divulgación. Todos deberán abrir nuevos campos a la ingeniería y/o contribuir a la planificación, análisis, discusión, diseño, cálculo, elaboración, construcción, mantenimiento o gestión de la actividad ingenieril. Serán un aporte al desarrollo y al avance de la profesión, resultando deseable que, de ser posible, incluyan aplicaciones prácticas de sus tratamientos.
- No serán considerados para su reproducción aquellos artículos que evidencien sólo intenciones comerciales.
- La extensión de los trabajos, salvo desarrollos muy especiales que no admitan mayor síntesis, no podrán exceder las diez (10) carillas en formato A4, con ambos márgenes de veinticinco (25) milímetros y sangría de un tabulado. Los textos serán a una sola columna y los títulos y subtítulos, ubicados sobre el margen izquierdo, se escribirán con todas las letras mayúsculas. La tipografía recomendada: Helvética cuerpo 10 e interlineado 12.
- En los tratamientos analíticos se usarán sistemas de unidades de aceptación Internacional y notaciones de uso común y universal.
- Cada artículo llevará al pie de la primera página nombre y apellido del/los autor/es, afiliación o institución perteneciente, si el trabajo se llevó a cabo en ella o alguna otra parte y el/los e-mail correspondientes.
- Se encabezará con un resumen en idioma original y en inglés, de no más de ciento cincuenta (150) palabras de extensión; los textos podrán a continuación incluir palabras clave en idioma original y en inglés. A lo largo del desarrollo se indicarán llamadas numéricas correspondientes a las referencias bibliográficas que irán al final del artículo, en la debida secuencia, indicando: Autor, año, título entre comillas, editor, N° o volumen y páginas.
- Previo a las referencias bibliográficas, se cerrará el texto con las conclusiones: Espacio destinado a señalar los resultados más significativos del contenido.
- La revisión previa de los originales se ejecutará en un plazo no superior a los tres (3) meses y será realizada por al menos dos expertos competentes del Comité Editorial o referato, quienes recibirán las

copias sin identificación de autoría: Bastarán dos dictámenes positivos para su aceptación. Asimismo, para el rechazo serán necesarias dos opiniones negativas. En ambos casos, el resultado de las evaluaciones será comunicado por escrito al autor a través de la Dirección de la revista y, como es de práctica universal, sin identificación de los árbitros intervinientes.

- En caso de rechazo, los autores podrán acomodar su trabajo a los términos del dictamen o apelar, fundamentando por escrito esta decisión. En las dos situaciones se acudirá a las opiniones de un nuevo grupo revisor. De persistir la negativa, este último será inapelable.
- La no aceptación de un artículo no implica necesariamente su descalificación técnica, pudiendo suceder que se falle en tal sentido por no ajustar su contenido al perfil de la revista.

## GUÍA P/PREPARACIÓN DE ARCHIVOS

- Los trabajos se recibirán preferentemente en Word formato rtf.
- Si se usan procesadores tales como Word, Word Perfect, Word Pad, Write, Work, etc. y se acompaña la redacción en esos formatos, cuidar de realizar las sangrías con tabulado y no con espacios. No cortar palabras con guión y retorno; tipear todo continuo y sólo retornar al finalizar el párrafo. No intentar pegar en el archivo alguna imagen tiff, eps, wmf, etc. Si se quiere incorporar un logotipo o un dibujo generado en un programa de manejo fotográfico o escaneado, indicar con un rectángulo agrisado dónde se lo desea ubicar, acompañándolo por separado.
- Las tablas desarrolladas en programas como Quattro Pro y Excel, pierden alineación y no trasladan las líneas de contorno de filas y columnas al exportarse al programa armador. Por tanto no se pueden usar como se presentan. Cuando se tipeen tablas en Word, Word Perfect, Word Pad, Write, Work, etc., hacerlo usando un tabulado por cada dato, no con espacios.
- Las imágenes deben prepararse en tamaño igual o mayor al de la reproducción. La resolución deberá ser de 306 dpi como mínimo cuando vayan a reproducirse en 150 líneas y de 350 dpi cuando sean para 175 líneas o se desee mejor definición.
- Si van a imprimirse en cuatricromía, trabajar los colores como CMYK.
- Si se realiza un duotono cuidar la angulatura de los colores para que no se superpongan los puntos.
- De ser posible, no grabar imágenes en JPEG. Si fuera necesario hacerlo, utilizar el modo óptimo e indicar por escrito el formato de grabación, para poder descomprimirlas.
- Si se suministran fotocromos, acompañar original para control.
- Para imágenes color se sugiere formatos EPS (Ascii para PC y Binario para MAC). Para escala de grises TIFF (PC o MAC).



# Revista de la Facultad de Ingeniería

I.S.S.N. 0326-1220

## Publicación Semestral de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo

Mendoza - República Argentina  
Año XIX - Número 41 - Junio 2000  
Tirada de esta edición: 1.000 ejemplares

Centro Universitario Parque Gral. San Martín  
5500 Mendoza - Argentina  
Tel. 54-261-4257083, int. 2148  
Conmutador 54-261-4494002 - Fax 54-261-4380120

### Autoridades

#### Decano

Ing. Tomás Aníbal Montes

#### Vicedecano

Ing. Eduardo Fortunato Manfredi

#### Consejo Directivo

#### Por los Profesores Titulares:

Eduardo Fortunato Manfredi, Mario Distéfano,  
Carmelo Rodríguez, Alfredo César Sarmiento.

#### Por los Profesores Adjuntos:

Raúl Horacio Giménez,  
Mario Carlos Sánchez.

#### Por los Auxiliares de Docencia

Enrique Jesús Esley.

#### Por los Egresados

Ricardo Ramírez y María Lorena Vázquez Poblet.

#### Por los Alumnos

Gustavo Draque, María de los Ángeles López Triaca,  
Osvaldo Javier Miranda.

#### Por los No Docentes

Carlos Roberto Tejada.

#### Dir. Gral. de Gestión Administrativa y Financiera

Lic. Roberto Testasecca

#### Directora Administrativa

Srta. Hilda Inés Herrera

#### Secretario Técnico

Ing. Samuel Raúl Riveira

#### Dir. Carrera Ingeniería de Petróleo

Ing. Carmelo Rodríguez

#### Dir. Carrera Ingeniería Civil

Ing. Angel C. Videla

#### Dir. Carrera Ingeniería Industrial

Ing. Alfredo Sarmiento

#### Dir. Ciencias Básicas

Lic. Norberto Giordano

#### Dir. de Cuarto Nivel

Ing. Walter Brottier

#### Dir. Doctorado en Ingeniería

Dr. Jorge Barón

#### Dir. Ingeniero Especialista y Maestría en Ingeniería Ambiental

Ing. Luis María Magistocchi

#### Dir. Maestría en Logística

Dr. Raymundo Quilez Forradellas

#### Dir. Maestría en Tecnología de la Información en Fabricación

Ing. Mario Distéfano

#### Secretario de Asuntos Estudiantiles

Ing. Carlos Adriano García

#### Dir. de Estudios Tecnológicos e Investigaciones

Ing. Tomás Juan Martínez

#### Secretario de Ciencia y Tecnología

Ing. Aldo Gaido

#### Jefe Departamento de Extensión Universitaria

Ing. José Ramón Mini

#### Jefe Departamento de Graduados

Ing. Adolfo Bove

#### Director de la Revista

Ing. José Ramón Mini.

#### Comité Editorial

Dr. Jorge Barón, Dr. Francisco Javier Crisafulli,  
Dr. Eduardo Carlos Ércoli, Dra. Adriana Fornés,  
Dr. Raymundo Quilez Forradellas, Dr. Hugo Héctor  
Martínez y Dr. César Alberto Savastano.

#### Referato

- **Dr. Wolfgang Volkheimer** - CRICYT - IANIGLA - Mendoza.
- **Dra. Lydia Espizua** - Unid. Glaciología - CRICYT - IANIGLA - Mendoza.
- **Dr. Raimundo Forradellas** - Dir. Maestría en Logística - F. I., UNCuyo - Mendoza.
- **Ing. Luis M. Magistocchi** - Dir. Maestría en Ing. Ambiental - F. I., UNCuyo - Mendoza.
- **Ing. Antonio Barnabó** - Prof. Consulto - F. I., UNCuyo - Mendoza.
- **Dr. Ing. Marcelo Szantó** - Docente Univ. Complutense y Univ. Cantabria (España) y Univ. Calórica de Viña del Mar (Chile).
- **Dr. Ing. Jaime Chiang** - Rector Univ. Francisco Santamaría y docente Univ. Estatal de Chile.
- **Profesores Consultos** - F. I., UNCuyo - Mendoza.

#### Asesoría de Inglés

Prof. Delta Papadacos de Valentini.

#### Producción, Publicidad, Edición, Diagramación, Corrección y Gestión Comercial

Ing. José Ramón Mini.

E.mail: [fing@raiz.uncu.edu.ar](mailto:fing@raiz.uncu.edu.ar)

Web: <http://fing.uncu.edu.ar>

La Dirección no se responsabiliza por las opiniones emitidas en los artículos firmados

## Sumario

Editorial, <i>J. R. Mini</i> .....	3
Manifestaciones de subsidencia superficial en el Pastal, Norte de Mendoza, Argentina, <i>Francisco Mingorance</i> ....	5
Creación del almacén de Información para la planificación Territorial, <i>Carlos Ortiz Poblet et al</i> .....	17
Criterio ambiental volumétrico para el cálculo patrimonial y de necesidades urbanísticas en espacios verdes, <i>R. Codina &amp; J. Barón</i> .....	21





## La naturaleza es un buen espejo donde mirarnos.

Somos una empresa integrada  
de energía que produce  
bienes indispensables  
para el desarrollo de todas  
las actividades económicas.

Trabajamos con plena conciencia  
de nuestra responsabilidad  
en la preservación del medio ambiente.

Por eso, todas nuestras empresas  
armonizan sus operaciones industriales  
con el cuidado de la ecología.

Y nuestro trabajo se está reflejando.

Con energía.



**ASTRA**

Una empresa





# Editorial

Tras un involuntario y prolongado receso operado a partir del año 2000, quiero manifestar a nuestros lectores y a los autores que colaboran con la revista, mi profundo malestar y pesar por el tiempo transcurrido durante la impasse que siguió al lanzamiento del número anterior.

Es por todos conocido el paulatino incremento de las dificultades económicas que desde entonces comenzara a experimentar el país y que se acentuara progresivamente hasta nuestros días. Lógicamente, el proceso de deterioro se vio también reflejado en la situación general y en las expectativas de las empresas que habitualmente nos favorecen con su publicidad y que en la emergencia debieron adoptar restricciones, estableciendo en este sentido un prudente compás de espera. Consecuentemente y dado que este esfuerzo editorial se solventa total y exclusivamente con esa contribución, resultó imperioso abrir un paréntesis en las actividades. No obstante, pese a todos estos inconvenientes y con encomiable actitud, los investigadores no detuvieron sus tareas. Así, se continuó recibiendo y procesando trabajos para su publicación; secuencia cuyo ritmo ahora pretendo retomar y es la razón por la que en este ejemplar estimo procedente mantener la numeración correlativa y la fecha virtual de emisión que le correspondiera, hasta lograr poner al día las futuras tiradas.

Por todo lo expuesto, considero un deber moral destacar aquí el decidido apoyo de los avisadores, quienes no sólo posibilitan la aparición de este número sino que y para inducir a una continuidad en la frecuencia de edición, también se han comprometido esta vez en participar del próximo, a punto de imprimirse. Corresponde pues que haga explícito mi agradecimiento en las personas de quienes tienen a su cargo el gerenciamiento local de Repsol YPF, EMEPA S.A., Esim S.R.L., Pool International Argentina S.A. y Astra Evangelista S.A., respectivamente, empresas todas nucleadas en la Seccional Cuyo del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG) cuya Comisión Directiva tengo el honor de integrar desde hace años y que respaldó generosamente mi gestión. A todos, muchas gracias.

Ing. José Ramón Mini  
Director



# emepa



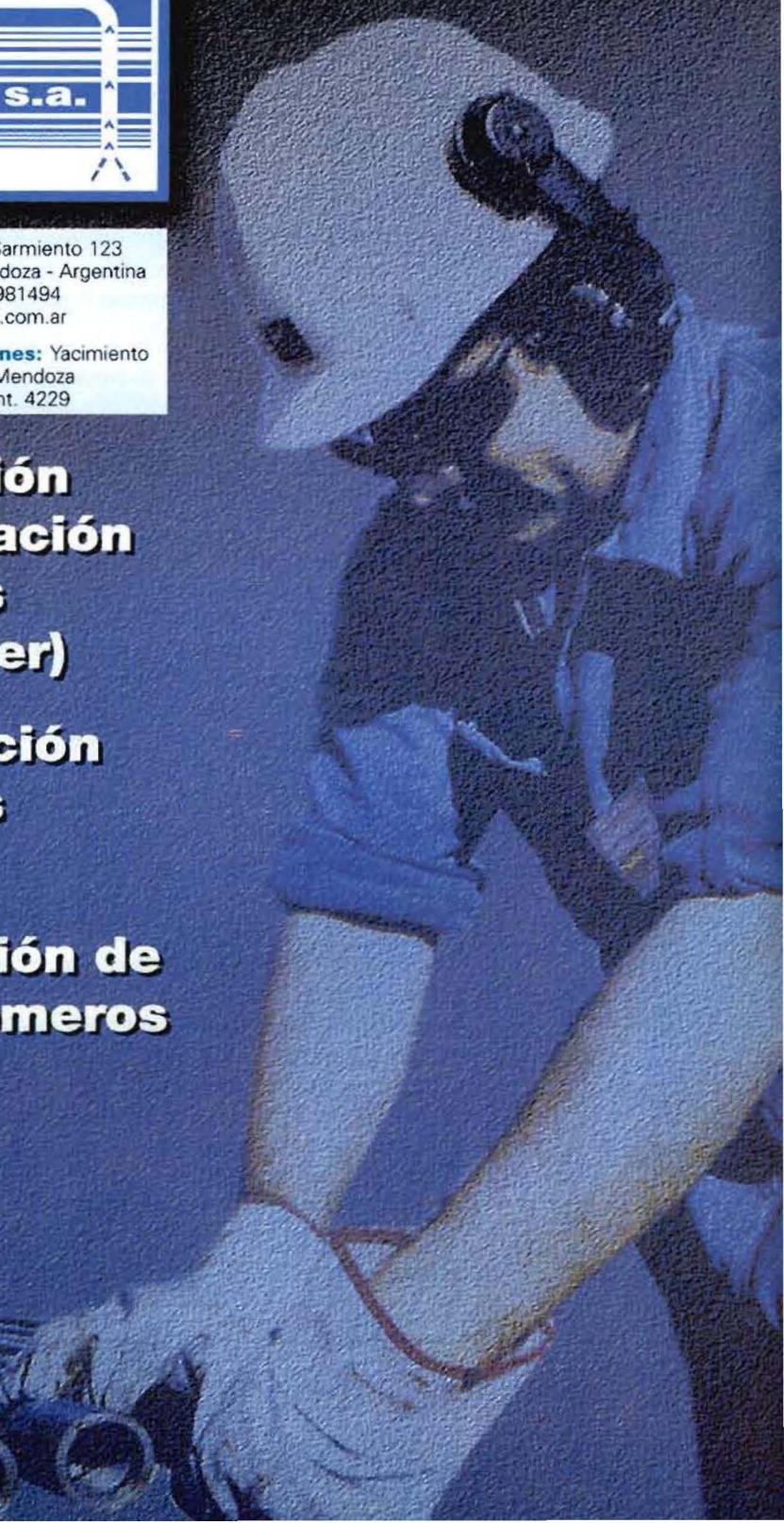
**Administración:** Sarmiento 123  
Luján de Cuyo - Mendoza - Argentina  
Tel. 0261-4985036/4981494  
E-mail: emepa@lanet.com.ar

**Base de Operaciones:** Yacimiento  
Barrancas - Maipú - Mendoza  
Tel. 0261- 4989800 Int. 4229

**Reparación  
y terminación  
de pozos  
(Work over)**

**Intervención  
de pozos  
(Pulling)**

**Perforación de  
pozos someros**





# Manifestaciones de subsidencia superficial en el Pastal, Norte de Mendoza, Argentina

**Francisco Mingorance<sup>1</sup>**

## **RESUMEN**

La subsidencia del terreno debida a la declinación del nivel de agua subterránea, un peligro geológico ampliamente distribuido, es el proceso que ha causado la más costosa y severa subsidencia a nivel mundial.

La causa principal de subsidencia del terreno en El Pastal (norte de Mendoza), es la compactación de sedimentos de grano fino en el acuífero que ha soportado la extracción de agua subterránea por un largo período de tiempo, probablemente con un ritmo de extracción mayor que el de recarga.

El terremoto de Cauce de 1977 (Ms: 7.4), el cual gatilló una extensiva licuefacción de suelos y extensionamiento lateral en El Pastal, alteró localmente las condiciones hidrogeológicas del acuífero.

Los sedimentos granulares sueltos presentes en dicha área son altamente susceptibles a la subsidencia del terreno (extracción de agua subterránea - hidrocompactación - piping) y a la licuefacción de suelos.

## **PALABRAS CLAVE**

Geología Ambiental - Peligros Geológicos - Subsidencia Superficial - Extracción de Agua Subterránea - Licuefacción de Suelos - Terremoto de Cauce de (1977) - El Pastal - Mendoza.

## **SUMMARY**

Land subsidence due to water level decline, a widespread geologic hazard, is the process that has caused the most costly and severe subsidence in the world.

The primary cause of land subsidence in the El Pastal area (northern Mendoza) is the compaction of fine-grained sediments in the aquifer system following severe, long-term withdrawal of ground water, probably in excess of recharge.

The 1977 Cauce Earthquake (Ms: 7.4), which caused extensive soil liquefaction and lateral spreading at El Pastal, locally altered the hydrological conditions of the aquifer system.

The loose granular sediments present in this area are highly susceptible to land subsidence (ground-water withdrawal - hydrocompaction - piping) and soil liquefaction.

---

<sup>1</sup> M. Sc., integrante del Laboratorio de Estructuras, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina  
E-mail: jshinken@raiz.uncu.edu.ar



## KEY WORDS

Environmental Geology – Geologic Hazards – Shallow Subsidence – Ground-Water Withdrawal – Soil Liquefaction – 1977 Cauce Earthquake – El Pastal – Mendoza.

## INTRODUCCIÓN

La subsidencia, el hundimiento de la superficie del terreno como consecuencia de cambios ocurridos en profundidad, es un proceso generalmente lento que ha sido la causa directa de cuantiosas pérdidas materiales ocurridas en distintos sitios del mundo.

Dado que existe una componente natural en su ocurrencia, este fenómeno es considerado como un verdadero peligro geológico, el cual se ve generalmente acelerado por actividades humanas inapropiadas. Entre las causas más comunes de subsidencia del terreno relacionada a la actividad del hombre, se destacan: extracción de agua subterránea, petróleo y gas de reservorios subterráneos, disolución de rocas calizas y sales, colapso de minas subterráneas, drenaje de suelos orgánicos, humedecimiento inicial de suelos áridos (Hidrocompactación) y desarrollo de cañerías subterráneas en materiales geológicamente susceptibles (Piping).

La falta de registros o la ausencia de un catálogo de eventos cuantificado y documentado, no indica que Argentina sea una excepción a la ocurrencia de esta clase de peligro geológico. En calidad de ejemplo, es importante destacar que procesos de subsidencia del terreno tienen lugar en los 50 estados de los Estados Unidos (1).

La subsidencia se puede clasificar, en función de la profundidad de ocurrencia del mecanismo causativo, en:

1. Subsidencia Profunda
2. Subsidencia Superficial

La primera ocurre a una profundidad variable entre varios centenares de metros hasta unos pocos kilómetros, y está fundamentalmente asociada a la extracción de petróleo y gas. La subsidencia superficial, por otro lado, tiene lugar cerca de la superficie del terreno, generalmente entre algunas decenas y unos pocos cientos de metros de profundidad. Esta última clase está relacionada a diversos mecanismos de generación, entre los que se destacan extracción de agua subterránea, hidrocompactación, disolución de rocas o sales, oxidación de materia orgánica y actividad minera.

La subsidencia causada por la extracción de fluidos es un problema muy extendido, que puede afectar tanto a la circulación de fluidos como a la distribución de sedimentos en y debajo de la superficie del terreno (2, 3).

En la tabla 1 se presentan los diferentes tipos de subsidencia ordenados según su mecanismo de generación, profundidad de ocurrencia y extensión del fenómeno. Los registros máximos indicados pertenecen fundamentalmente a los Estados Unidos, algunos de los cuales son registros máximos mundiales.

MECANISMO	CLASIFICACIÓN	EXTENSIÓN	REGISTROS MÁXIMOS
Extracción de Agua	Superficial	Local - Zonal	9 m en 52 años – California (RM)
Extracción de Petróleo	Profunda	Zonal	8.7 m en 44 años – California (RM)
Hidrocompactación	Superficial	Local	1 – 4.5 m en horas / días - California
Actividad Minera	Superficial	Local	34.5 m en horas - Ohio
Disoluciones	Superficial	Local	34 m en 48 horas - Texas

Tabla 1: Tipos de subsidencia (RM : Registro máximo a escala mundial).

Fuentes : Alfors et al, 1973; Castle y Yerkes, 1976; Poland, 1984; Ireland, 1986; Newton, 1987; Johnson, 1991; Crowell, 1997



Desde el punto de vista del mecanismo causativo de la subsidencia del terreno, podemos subdividirla en los siguientes tipos:

- Subsidencia por extracción de agua subterránea
- Subsidencia por extracción de petróleo o gas
- Subsidencia por hidrocompactación
- Subsidencia por disolución de rocas o sales
- Subsidencia por actividad minera.

En las regiones sísmicas, por otro lado, la licuefacción de suelos constituye otra forma de subsidencia. Esta ocurre súbitamente gatillada por el sacudimiento sísmico del terreno, en condiciones geológicas e hidrogeológicas muy particulares.

Dado que la licuefacción produce innumerables pérdidas materiales durante la ocurrencia de terremotos de magnitudes medias a altas, este peligro geológico secundario asociado a terremotos fue históricamente analizado desde el punto de vista de los efectos geológicos superficiales que produce sobre las estructuras ingenieriles, pero nunca ha sido tratado como un posible iniciador de subsidencia múltiple a mediano o largo plazo.

Si bien el valle de San Joaquín (California) es el sitio del planeta que ha experimentado la mayor subsidencia por extracción de agua subterránea (9 m en 52 años : 1, 2, 3) y por consiguiente unos de los sectores mejor estudiados del mundo en este aspecto, no se conoce realmente si la licuefacción de suelos (superficial y/o subsuperficial) asociada a terremotos históricos pudo haber contribuido al desarrollo de piping, como así también haber afectado o alterado las condiciones hidrogeológicas de los acuíferos explotados.

En El Pastal, una zona agrícola localizada a unos 15 km al NE de la ciudad capital de la provincia, se han identificado evidencias de subsidencia local en dos sectores muy cercanos entre sí, los cuales tienen relación con la explotación del agua subterránea y con la licuefacción de suelos asociada al terremoto de Cauçete (1977).

En el primer caso, las manifestaciones de subsidencia superficial están expresadas por el hundimiento casi circular alrededor de la bomba de extracción de agua de dos pozos en actividad (hasta el momento de ocurrir la subsidencia), cuya profundidad de explotación del acuífero era de unos 87 m.

Por otro lado, esta zona experimentó una severa licuefacción de suelos (Superficial y Subsuperficial) asociada al terremoto de Cauçete de 1977 (Ms: 7.4), la cual se manifestó fundamentalmente por un significativo agrietamiento superficial del terreno (4), proceso científicamente conocido como expansión o extensionamiento lateral (Lateral Spreading), además del hundimiento diferencial localizado (licuefacción superficial) de las piletas de almacenamiento de vino de una pequeña bodega local.

La tarea de extracción de agua subterránea realizada mediante estas perforaciones se vio afectada por el elevado nivel de sacudimiento sísmico del terreno producido por el terremoto de 1977, el cual generó una disminución prácticamente instantánea del flujo de agua, además de la expulsión de material sólido a la superficie (limo arenoso). Esta alteración de las condiciones hidrogeológicas del acuífero, requirió la realización de trabajos posteriores tendientes a recomponer la situación extractiva inicial.

El terremoto de Mendoza de 1985 (Ms: 5.9), en contraposición a lo ocurrido en 1977 (Terremoto de Cauçete), no produjo licuefacción de suelos en El Pastal (5) ni afectó la extracción de agua subterránea realizada por los pozos señalados.

## **CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SUBSIDENCIA**

Las principales características de los diferentes tipos de subsidencia serán tratadas brevemente, con

el objeto de destacar sus diferencias más salientes, en lo que respecta fundamentalmente a su mecanismo de generación, extensión del fenómeno, condiciones geológicas necesarias para su ocurrencia y registros máximos conocidos.

La subsidencia relacionada a la oxidación de suelos orgánicos no será tratada en este trabajo, ya que la misma requiere condiciones geológicas, hidrogeológicas y biológicas muy particulares (deltas de los grandes ríos), las cuales no tienen posibilidad de ocurrencia en esta región del oeste de Argentina.

### **Subsidencia por extracción de agua subterránea**

Este mecanismo de subsidencia es el más extendido, severo y costoso a nivel mundial. El bombeo del fluido, desde una profundidad determinada hacia el exterior, reduce la presión de poros que ayuda a soportar los depósitos sobreyacentes. El material sedimentario remanente se acomodará compactándose en un volumen menor, en respuesta al incremento de esfuerzos, lo cual producirá un efecto irreversible (2, 3). La causa principal de subsidencia es, por lo tanto, la compactación de sedimentos de grano fino (fundamentalmente arcillas) en el sistema de acuífero sometido a una severa extracción por un largo período de tiempo, en donde el ritmo de extracción excede al de recarga.

La cantidad de subsidencia en un área dada está relacionada directamente a la magnitud de la declinación del nivel de agua, al porcentaje de estratos arcillosos constituyentes del acuífero y al período de tiempo durante el cual dicha declinación fue mantenida (6, 7).

Este tipo de subsidencia afecta generalmente amplias áreas [14.000 km<sup>2</sup> en el valle de San Joaquín – (1)], con la excepción de los efectos superficiales locales que produce sobre los pozos de extracción de agua. En este último caso, los daños ocurridos tienen la forma de colapso telescópico del revestimiento del pozo y algunas veces la exposición del referido revestimiento sobre la superficie del terreno (6).

El caso más severo a nivel mundial lo constituye, sin lugar a dudas, el valle de San Joaquín (California), el cual sufre subsidencia desde la década del 20. El registro máximo correspondió al período 1925 – 1977, alcanzando un valor de 9 m (2, 3 y 8).

Un efecto geológico superficial asociado a subsidencia de regiones sometidas a una sobreexplotación prolongada de acuíferos, tal como ocurre en el SW de los Estados Unidos, es la formación de profundas grietas en la superficie del terreno. Una de estas grietas alcanzó una profundidad de aproximadamente 30 m y una longitud extraordinaria de 16 km en Arizona central.

### **Subsidencia por extracción de petróleo y gas**

Este proceso de subsidencia ocurre casi de la misma manera que aquel relacionado a la extracción de agua. La presión de poros es reducida por extracción de fluidos, mientras que la carga de la roca sobreyacente es gradualmente transferida a las rocas del reservorio (principalmente estratos de arcillas y pizarras), produciendo su compactación (6).

El hundimiento diferencial es el efecto superficial más común relacionado a este proceso, el cual tiene origen prácticamente en el centro del Área de Producción, adquiriendo una forma similar a una cubeta poco profunda (6, 9).

El agrietamiento de la superficie del terreno, en respuesta al hundimiento diferencial, es un efecto superficial poco observado en el mundo, siendo el más conocido aquel ocurrido en 1963 en California, el cual causó (indirectamente) la destrucción de la presa de tierra del reservorio de agua Baldwin Hills (9).

El ejemplo más dramático de subsidencia relacionada a la extracción de petróleo ha tenido lugar en Wilmington, en las cercanías de Long Beach, en donde se alcanzó el máximo registro mundial (8.7 m) para el período 1928 – 1972 (6).

Valores más comunes de subsidencia, para un período de tiempo aproximadamente similar al anterior, son comparables al registrado en Baldwin Hills (California) el cual alcanzó un máximo de 1.5 m entre 1911 y 1964 (9).



La subsidencia relacionada exclusivamente a la extracción de gas, aparentemente no alcanza magnitudes comparables a aquella asociada a la extracción de petróleo. Esta podría ser la razón por la cual dicho proceso de subsidencia no es ampliamente conocido (6).

### **Subsidencia por hidrocompactación**

Este proceso es causado por la saturación rápida de depósitos finos y pobremente compactados, en estado inicial no saturado. La adición de agua facilita la reorientación de las partículas del suelo, produciendo una neta reducción en volumen. En este contexto, los suelos pierden su capacidad de soporte y consolidan bajo su propio peso.

Este proceso, el cual ocurre por encima de la zona de saturación, es muy común en ambientes desérticos, aunque también hay algunos registros en regiones semiáridas (6).

Los materiales más susceptibles a la hidrocompactación son los limos arenosos (entre 0.0039 a 0.0625 mm en diámetro) depositados por acción del viento (Loess) y los depósitos algo arcillosos distales de abanicos aluviales (7).

La saturación de este tipo de depósitos sedimentarios por actividad humana, tal como irrigación, construcción de carreteras y desarrollo de pequeños reservorios superficiales de agua (artificiales), ha contribuido enormemente a la inducción del peligro geológico referido. Se conocen valores máximos variables entre 1 y 4.5 m en los márgenes S y W del valle de San Joaquín (7, 8).

Este proceso está comúnmente relacionado al Piping, el cual contribuye en un incremento lateral y vertical de la subsidencia.

### **Subsidencia por disolución**

Este proceso tiene lugar donde existen rocas sólidas solubles (subsuperficiales), las cuales son disueltas lentamente por el agua natural circulante en o bajo la superficie. El agua de lluvia, en combinación con el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, constituye un medio ácido que tiene la propiedad de disolver ciertos tipos de rocas, fundamentalmente las compuestas por carbonatos.

Las principales rocas involucradas en este proceso de disolución, son las calizas (CO<sub>3</sub>Ca) y dolomías ([CO<sub>3</sub>]<sub>2</sub> CaMg), las cuales desarrollan un paisaje característico de disolución denominado Karst. El yeso (SO<sub>4</sub>Ca.2H<sub>2</sub>O), está generalmente presente en el proceso kárstico.

Las geoformas más características de los paisajes kársticos son las cavernas y los sumideros (sinkholes), además de la frecuente disrupción del sistema de drenaje debido a la pérdida de agua superficial y su migración hacia la subsuperficie (10).

Los problemas ambientales en los relieves kársticos se pueden agrupar en dos categorías: la polución del agua subterránea y los problemas ingenieriles de fundación. Entre los últimos, se destacan: asentamiento diferencial, piping (un tipo de erosión subsuperficial) y colapso de la superficie del terreno dentro de las cavidades subterráneas, el cual se conoce como Sumidero de Colapso (10).

El sumidero de colapso se forma casi súbitamente cuando la superficie del terreno colapsa dentro de los vacíos o cavidades subterráneas, produciendo una forma superficial bastante circular, con sus lados o paredes marcadamente abruptas (10,11). Una vez formada, esta manifestación de subsidencia puede incrementar su tamaño.

Si bien el Winter Peak Sinkhole (30 m en 72 horas) ocurrido en Florida (1981) no ha sido el de mayor tamaño y profundidad, fue uno de los que produjo mayores pérdidas materiales hasta el presente (12).

La actividad minera relacionada a la extracción de sal, también puede ser la causa de la generación de sumideros de colapso. De hecho, el Wink Sinkhole ocurrido en Texas fue producido por la disolución de ClNa bajo la superficie del terreno, proceso que duró aproximadamente 48 hs, dejando un hundimiento de unos 110 m de ancho y 34 m de profundidad (11).

### **Subsidencia por actividad minera**

La subsidencia provocada por este mecanismo generalmente afecta a muy pocas personas y tiene un carácter local.

En el contexto de la minería subterránea, este peligro geológico representa al colapso de materiales rocosos consolidados y/o no consolidados, dentro de las galerías subterráneas.

La subsidencia minera es controlada por numerosos factores, entre los que se destacan: espesor del material sobreyacente a la excavación minera, ancho del techo minero no estabilizado con soportes, hidrología, dimensión de los pilares, densidad y dimensión de fracturas y tiempo (13, 14).

La componente vertical de la subsidencia minera es proporcional a la altura del área de extracción (15).

Este proceso es frecuentemente afectado por la circulación de agua o por la fluctuación de su nivel en la mina. De hecho, el agua circulante en una mina subterránea puede deteriorar los soportes del techo o a la roca que lo constituye (13). De la misma manera, la probabilidad de ocurrencia de subsidencia minera se ve incrementada donde las fracturas intersectan al techo de la mina, ya que estas forman verdaderos planos de debilidad que controlarán la ocurrencia del colapso.

Uno de los casos más asombrosos de subsidencia minera se encuentra en el estado de Ohio (USA), en donde la mayoría de las 6.000 minas subterráneas abandonadas son minas de carbón, las cuales han estado provocando problemas de subsidencia al menos desde 1923 (15).

Este proceso ha provocado daños tanto a las fundaciones de edificios, como a cañerías subterráneas y carreteras, además de representar un peligro potencial para el hombre. Recientemente, el colapso sufrido por la carretera interestatal 70 (I - 70) en el condado de Guernsey (Ohio), mantuvo cerrado dicho medio de transporte por varios meses, y produjo un costo total de reparación de unos 3.8 millones de dólares (15).

### **EL EFECTO NEGATIVO DEL PIPING**

Piping es un proceso que conduce a la formación de conductos subterráneos similares a cañerías, debido fundamentalmente a la erosión subsuperficial del suelo por la acción del agua infiltrada. Este proceso puede afectar a materiales con tamaños variables entre los rangos arcillas (< 0.002 mm) y gravas (algunos cm), aunque es más común su desarrollo en suelos con textura fina (arena fina, limo y arcilla).

Las cañerías resultantes son inicialmente de unos pocos centímetros, pero pueden crecer a diámetros mayores a 1 m (10). Su desarrollo está limitado a la cercanía de la superficie, o puede ocasionalmente extenderse varios metros en profundidad.

El piping tiende a acelerarse cuando el nivel de la capa freática se ve notablemente disminuido por la sobreexplotación del agua subterránea, por el incremento de la cantidad de agua infiltrada o por ambos simultáneamente (10). De la misma manera, la acción del hombre puede incrementar la velocidad de ocurrencia del proceso, especialmente si se procede a la canalización de la escorrentía superficial hacia sectores o áreas en donde ocurrirá una infiltración concentrada.

El efecto superficial producido por el piping, el cual es muy similar al causado por hidrocompactación, está fundamentalmente asociado al colapso del techo de las cañerías. Esta última puede ser geoméricamente delineada, en función de la alineación de los colapsos sucesivos.

La elevada peligrosidad potencial del piping radica en que este proceso está generalmente asociado a otros mecanismos de subsidencia (hidrocompactación, extracción de agua subterránea, disolución de rocas y/o sales y actividad minera), lo cual tiende a incrementar la magnitud de la subsidencia inicial (8, 9, 10, 15).



## EVIDENCIAS DE SUBSIDENCIA SUPERFICIAL EN EL PASTAL

La zona agrícola denominada El Pastal se localiza en la Planicie Aluvial de Transición del río Mendoza, y está desarrollada fundamentalmente sobre superficies geomórficas aluviales constituidas por depósitos sedimentarios predominantemente finos.

El espesor del relleno aluvial en esta zona se estima en unos 250 – 270 m, y está compuesto fundamentalmente por depósitos arcillosos, limosos y arenosos finos, intercalados con importantes lentes de gravas (16).

Topográficamente, esta región presenta un relieve aproximadamente plano con una leve pendiente regional hacia el NE.

Desde el punto de vista hidrogeológico, esta zona se caracteriza por presentar (regionalmente) una freática muy superficial (17), la cual no está exenta de sufrir variaciones estacionales y/o anuales (18).

Se observa una elevada contaminación salina de los depósitos superficiales, cuyo origen podría estar relacionado fundamentalmente al ascenso capilar de sales provenientes de una freática salina muy superficial. Estos depósitos superiores muestran además, una importante cementación por  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .

Durante la ocurrencia del terremoto de Cauce (1977), y debido a las condiciones geológicas e hidrogeológicas dominantes, se produjo en esta zona la más severa licuefacción de suelos asociada a dicho evento sísmico. Es importante destacar que, a pesar de que el punto de liberación de energía sísmica se localizó a unos 150 km (línea recta) de la zona afectada, el tamaño del evento (Ms: 7.4) y su duración ( $\approx$  1 minuto) fueron críticos al momento de inducir la licuefacción.

La principal manifestación de licuefacción estuvo relacionada a un profundo agrietamiento del terreno (4), lo cual evidencia la ocurrencia de un típico extensionamiento o expansión lateral (Lateral Spreading). Este proceso tiene lugar cuando se produce la licuefacción de un estrato arenoso fino saturado en agua, subsuperficial (unos pocos metros debajo de la superficie) y con una leve inclinación local. Al momento de ocurrir la licuefacción del estrato, este se compacta en forma súbita y fluye prácticamente como un líquido controlado por la pendiente. El depósito suprayacente, por lo tanto, acompaña a la migración produciendo la ruptura del terreno en grandes bloques paralelos, que van rotando relativamente entre sí en el sentido de la extensión. Este proceso ocurrió a unos 3 km del sector afectado por subsidencia reciente.

La otra manifestación de licuefacción estuvo relacionada al hundimiento de dos piletas de almacenamiento de vino de una pequeña bodega local (Figura 4). Estas piletas de hormigón armado, forma prismática y sección rectangular, sufrieron licuefacción de suelos superficial; tal como se evidencia por el hundimiento diferencial de unos 0.30 – 0.40 m. La posible variación lateral del espesor del estrato licuado, además de la diferencia de peso de las estructuras afectadas (cantidad de vino almacenada), provocó un hundimiento relativo mayor de una piletta con respecto a la otra (Figura 4). Este sector se encuentra a unos pocos centenares de metros del sitio mostrado en la Figura 1.

El elevado nivel de sacudimiento sísmico del terreno, amplificado por la naturaleza suelta y la textura fina de los depósitos aluviales presentes en el área bajo estudio, fue responsable de la alteración instantánea (e irreversible) de las condiciones hidrogeológicas del acuífero productivo y/o depósitos sedimentarios inmediatamente superiores e inferiores (posible compactación); generando una súbita y significativa disminución del flujo de agua subterránea (Pozo de Extracción – Figura 1). Esta situación se mantuvo en forma casi definitiva, por lo cual fue necesario realizar trabajos posteriores tendientes a recomponer la situación extractiva inicial. En este sentido, se debió extender la perforación original hasta una profundidad de unos 87m.

El agrietamiento superficial del terreno (0.50 m de profundidad), localizado a unos 25 - 30 m al W-SW del sitio mostrado en la figura 1, representaría la expresión superficial de dicho Asentamiento Diferencial ocurrido en profundidad.

Este último proceso, el cual es característico de zonas afectadas por un elevado shaking del terreno,

puede ser causado por compactación asociada o no a licuefacción (19). Durante el sacudimiento fuerte del terreno los granos del suelo pueden ser reorientados en un paquete sedimentario más denso, debido al colapso de los vacíos y espacios porosos, resultando en una reducción casi instantánea del volumen y espesor total de la columna estratigráfica. El asentamiento diferencial (no asociado a licuefacción) resultante del sacudimiento del terreno generalmente ocurre en sedimentos granulares sueltos o suelos sin cohesión (19).

La ausencia de evidencias de licuefacción superficial y subsuperficial durante el terremoto de 1985 (5), fue consecuencia exclusivamente de la escasa magnitud del evento (Ms: 5.9), ya que las condiciones geológicas e hidrogeológicas aún imperantes indican que esta zona mantiene un elevado potencial futuro para la ocurrencia de licuefacción de suelos.

Con sus nuevas condiciones de extracción, el pozo se mantuvo productivo por aproximadamente 22 años, hasta que en mayo de 1999 ocurrió la subsidencia superficial mostrada en las figuras 1, 2 y 3.

El área bajo estudio fue visitada por primera vez, a solicitud de la Delegación de Defensa Civil del Municipio de Las Heras, en diciembre de 1999; pudiéndose observar solamente la manifestación de subsidencia asociada a uno de los dos pozos afectados (Figura 1). El pozo restante fue cerrado inmediatamente después de ocurrida la subsidencia, y la depresión producida por el hundimiento fue rellenada posteriormente con material aluvial.

El mecanismo que generó esta subsidencia superficial local, fue indudablemente la extracción de agua subterránea. De hecho, los dos pozos afectados (distantes 50 m entre sí) sufrieron hundimiento telescópico del revestimiento del pozo, lo cual es indicativo de una extracción prolongada y severa, en donde el ritmo de extracción excede al de recarga (6).

La secuencia de eventos ocurrida en El Pastal en 1999, comenzó con el hundimiento del revestimiento del pozo localizado unos 50 m al E-NE de aquel mostrado en figura 1. Posteriormente, poco más de 24 hs, se produjo el colapso telescópico (y casi concéntrico) del revestimiento asociado al pozo restante (Figuras 1, 2 y 3).

El diámetro de la subsidencia es de poco más de 10 m, mientras que su profundidad alcanza aproximadamente los 3 m (Figuras 1, 2 y 3).

La elevada salinidad natural y la cementación carbonática de los depósitos superficiales, serían responsables de la aparente disposición vertical de las paredes del hundimiento (Figuras 2 y 3).

Mediante una inspección reciente de esta manifestación de subsidencia superficial, se pudo comprobar que el agua localizada en el fondo del hundimiento (Figuras 2 y 3) tiene carácter de permanente. Su origen, por otro lado, podría estar relacionado a una freática superficial, al pozo afectado o a ambos simultáneamente.

Las condiciones hidrogeológicas (agua subsuperficial y escurrimiento superficial hacia el NE) y geológicas (sedimentos finos y sueltos, elevada salinidad superficial de los depósitos, perturbación previa producida por subsidencia y sacudimiento sísmico y alta porosidad natural) imperantes, indican que esta zona tiene un elevado potencial para el desarrollo de Piping.

La efímera manifestación de subsidencia mostrada en la figura 5, cuya dimensión es de 1.20 – 1.30 m de ancho y 0.40 – 0.50 m de profundidad, podría tener relación con este proceso.

La figura 6 muestra la distribución espacial y la evidente alineación (en dirección NE) existente entre las evidencias de subsidencia superficial.

El terremoto de 1977, además de una severa licuefacción de suelos, produjo una significativa perturbación local en el sistema de acuíferos explotados (Asentamiento Diferencial). La extracción de agua subterránea en estas condiciones de inestabilidad, posiblemente favoreció la ocurrencia de subsidencia superficial local a largo plazo, la cual estaría magnificada por el desarrollo de piping relacionado a disolución de sales y/o erosión subsuperficial de materiales finos.



## CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra que la susceptibilidad de ocurrencia, es sólo una de las componentes de un cierto peligro geológico potencial. La otra componente es la oportunidad de ocurrencia.

En El Pastal, la susceptibilidad de ocurrencia de licuefacción es la misma desde 1977 a la actualidad, pero la oportunidad de ocurrencia sólo fue alcanzada durante el Terremoto de Cauce (Ms: 7.4), no ocurriendo lo mismo durante el evento sísmico que afectó al Gran Mendoza en 1985 (Ms: 5.9).

La oportunidad de ocurrencia local para la Licuefacción de Suelos, está controlada fundamentalmente por el tamaño del evento encargado de inducir este peligro en especial, el cual ocurre en forma extensiva para terremotos de magnitudes  $M_s \geq 6.5$ .

Las manifestaciones de subsidencia superficial del terreno identificadas y cuantificadas en El Pastal, indican que las condiciones geológicas e hidrogeológicas existentes son altamente susceptibles a la ocurrencia de este peligro geológico. La oportunidad de ocurrencia, por otro lado, fue controlada fundamentalmente por la extracción severa y prolongada de agua subterránea, en un medio previamente afectado por asentamiento diferencial del terreno asociado a un significativo sacudimiento sísmico.

Estas mismas condiciones geológicas, le confieren a esta zona una elevada susceptibilidad de ocurrencia para subsidencia asociada a hidrocompactación y piping.

Actividades humanas inapropiadas podrían controlar la oportunidad de ocurrencia para una significativa subsidencia superficial futura en El Pastal.

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea manifestar su agradecimiento al Sr. Nazareno Domizzi (hijo) por la detallada información técnica y documental referente al pozo de extracción de agua afectado por subsidencia; y a las autoridades y miembros de la Delegación de Defensa Civil del Municipio de Las Heras por la colaboración prestada durante las inspecciones de campo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wilshire, H; Howard, K; Wentworth, C and Gibbons, H., 1996. **Geologic processes at the land surface**. U.S. Geological Survey, Bulletin 2149, 41 p.
2. Poland, J., 1984. **Guidebook to studies of land subsidence due to groundwater withdrawal**. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. International Hydrological Program, Studies and Reports in Hydrology, Vol. 40, 305 p.
3. Johnson, A., 1991. **Land subsidence**. International Association of Hydrological Sciences, Publication N° 200, 690 p.
4. Volponi, F; Quiroga, M; Robles, A y Sisterna, J., 1984. **El terremoto de Cauce - 23 de noviembre de 1977**. Universidad Nacional de San Juan, Instituto Sismológico Zonda, Informe Técnico, 97 p.
5. Inpres, 1986. **Características principales del terremoto de Mendoza del 26 de enero de 1985**. Instituto Nacional de Prevención Sísmica, Publicación Técnica N° 11, 43 p.
6. Alfors, J; Burnett, J and Gay, T., 1973. **Urban geology master plan for California**. California Division of Mines and Geology, Bulletin 198, 112 p.
7. Williamson, A; Prudic, D and Swain, L., 1989. **Ground - water flow in the Central valley, California**. U.S. Geological Survey Professional Paper 1401-D, 127 p.
8. Ireland, R., 1986. **Land subsidence in the San Joaquín valley, California, as of 1983**. U.S. Geological Survey, Water - Resources Investigations, Report 85-4196, 50 p.
9. Castle, R and Yerkes, R., 1976. **Recent surface movements in the Baldwin Hills, Los Angeles County, California**. USGS, Professional Paper 882, 125 p.
10. Reger, J., 2000. **Foundation engineering problems and hazards in karst terranes**. Maryland Geological Survey, Fact Sheet # 11. 7 p.
11. Newton, J., 1997. **Development of sinkholes resulting from man's activities in the United States**. U.S. Geological Survey. Circular 968, 54 p.
12. Blair-Tyler, M., 1994. **Look before you build: Geologic studies for safer land development in the San Francisco Bay Area**. U.S. Geological Survey, Circular 1130, 54 p.



13. Crowell, D., 1995. **The hazards of mine subsidence**. Ohio Division of Geological Survey, Ohio Geology, Fall, p. 1 – 5.
14. De Long, R., 1988. **Coal – mine subsidence in Ohio**. Ohio Division of Geological Survey, Ohio Geology, Fall, p. 1 – 4.
15. Crowell, D., 1997. **Mine subsidence**. Ohio Department of Natural Resources, Division of Geological Survey, Geofacts # 12, 4 p.
16. Rodríguez, J., 1978. **Estudio hidrogeológico del área El Borbollón, provincia de Mendoza**. Centro Regional de Aguas Subterráneas (CRAS), Publicación N° P – 218, 25 p.
17. Álvarez, A, Bessone, D; Gianni, R; Hernández, J; Martins, N; Pazos, J; Sobrino, J; Vivas, A y Wetten, C., 1996. **Mapa hidrogeológico de la provincia de Mendoza** (Escala 1:500.000). Centro Regional de Agua Subterránea (CRAS).
18. Departamento General de Irrigación., 1997. **Descripción preliminar de la cuenca del río Mendoza**. Documento Técnico, 112 p.
19. Barrows, A; Siang, T and Irvine, P., 1994 **Investigation of surface geologic effects and related land movements in the city of Simi Valley resulting from the Northridge Earthquake of January 17, 1994**. California Division of Mines and Geology, Open-File 94-09, 41 p.



Figura 1 : Evidencia de subsidencia superficial en El Pastal (Diámetro: > 10 m – Profundidad: ≈ 3m).  
Notar el significativo colapso telescópico del revestimiento del pozo. Fotografía: 17/12/1999.



Figura 2 : Detalle de la manifestación de subsidencia mostrada en la figura anterior. Observar la posición del remanente de la bomba de extracción y de la cerca divisoria con posterioridad al evento de hundimiento diferencial. Fotografía: 17/12/1999.





Figura 4 : Hundimiento diferencial (0.30 – 0.40 m) de las piletas de almacenamiento de vino de una pequeña bodega localizada a unos pocos centenares de metros del sitio anterior. El hundimiento fue causado por una severa licuefacción de suelos (superficial) gatillada por el terremoto de Cauçete. Fotografía: 17/12/1999.



Figura 3 : Vista frontal de la bomba de extracción en relación a la cerca. Observar la elevada salinización del suelo y de los depósitos superficiales. Fotografía: 17/12/1999.





Figura 6 : Distribución espacial de las manifestaciones de subsidencia superficial mostradas en figuras 1 y 5. Notar la evidente alineación existente entre las mismas (posible Piping). Unos 10 m detrás de la línea de árboles, se localiza el emplazamiento del restante pozo de extracción afectado. Fotografía: 18/11/2000.



Figura 5 : Manifestación reciente de subsidencia superficial localizada al SW del sitio mostrado en figura 1. Notar la significativa salinización del suelo. Fotografía: 18/11/2000.



# Creación del Almacén de Información para la Planificación Territorial

**Equipo del Proyecto: Prof. Carlos Ortiz Poblet - Director<sup>(1)</sup>**  
**Arq. Hernán Costarelli**  
**Ing. Civil Tomás A. Montes**  
**Arq. Roberto Romano**  
**Ing. Civil Daniel Fernández**

## SUMARIO

El objetivo de este proyecto es conformar un Almacén de Información con todo lo vinculado al Ordenamiento Territorial Micro-regional y local de la Provincia de Mendoza. Dicha información es interdisciplinaria y propia de cada organismo específico, por lo tanto, su recopilación, ordenamiento, clasificación y proceso, es complejo por su diversidad. Requiere asimismo una actualización permanente y una retroalimentación para no perder vigencia. La información procesada debe ser flexible, simple y abierta, sirviendo como herramienta vital para el análisis y diagnóstico de situaciones Urbanas o Rurales, que permita formular propuestas o proyectos sobre bases ciertas. Debe transformarse en un referente principal al servicio de la Universidad, Entes Estatales y terceros.

**Palabras Clave:** Ordenamiento Territorial; Urbano; Rural; Micro- regional.

## SUMMARY

The aim of the present project is the development of a Data Warehouse, which will contain all the information, related to the micro-regional and local Territorial Ordination for the Mendoza Province. Due to the inter-disciplinary nature of such information, and to the fact that it belongs to several specific Organizations, its compilation, ordination, classification and processing is a complex task. Such a Data Bank requires also a permanent actualization and a feedback process, in order to be kept updated. The processed information should be flexible, simple and open for being used as a vital tool for the analyses and diagnoses of urban and rural situations, thus permitting the formulation of proposals and projects on true grounds. The Data Warehouse should evolve into a principal referent, to the service of University, Public Organizations and third parties.

**Key Words:** Territorial arrangement; Urban; Rural; Micro-regional.

---

Proyecto bienal que bajo el título de "Proyecto Banco de Datos. Centro de Información de Ordenamiento Estratégico Urbano - regional de Mendoza" fue presentado a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNCuyo y luego aprobado por ésta con la Cat. A.

Unidad Ejecutora: Instituto de Estadística y Economía aplicadas a la Ingeniería. E-mail: ieeapi@uncu.edu.ar



## PRESENTACIÓN

El Almacén de Información del Instituto de Estadística y Economía Aplicadas a la Ingeniería (IEEAPI) será el Centro no gubernamental de Información fidedigna a nivel geofísico, ambiental, social, económico y político-administrativo territorial de la Provincia de Mendoza. En la actualidad la información se encuentra diseminada en distintos organismos del gobierno central, municipios y centros de estudio e investigaciones a nivel universitario, por lo que tampoco cuenta el Ejecutivo provincial con una repartición que concentre todos estos datos imprescindibles para cualquier plan de Desarrollo y la correspondiente estrategia de implementación.

Los datos referidos a las dimensiones socio demográficas, geofísico espaciales, económicas y ambientales tanto gráficas, estadísticas o de cuadros comparativos de la Provincia (área urbana y rural) implican una responsabilidad en cuanto a su uso controlado para su transferencia y difusión. Una base confiable de datos permite diagnosticar y formular programas y estudios de factibilidad, estableciendo estrategias y políticas que den como resultado un ordenamiento territorial equilibrado y serio al servicio de los intereses de la Comunidad.

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

**Conocimiento y estado actual sobre el tema.** La planificación del Desarrollo Estratégico Nacional, Regional, Microrregional y Local tiene décadas. Hace más de 40 años que los países desarrollados lo emplean no solamente a nivel militar, sino también civil. Las guerras, los daños ecológicos provocados por catástrofes naturales o intencionales, llevan al hombre a cuidar su ambiente; así, a nivel internacional se habla de proteger el hábitat para el futuro, respetando la naturaleza y las especies que habitan en ella. Los países desarrollados cada vez controlan más sus ciudades para evitar los efectos de la contaminación del medio ambiente. Las leyes sobre el desarrollo urbanístico y de uso del suelo tienen un sustento histórico y plena vigencia principalmente en Europa y Países como Estados Unidos y Canadá. La O.E.A, el CIDU-IPU, el PIAPUR, CIADEC, CENDES, ONU, son organismos que se han ocupado y ocupan a nivel internacional de los problemas de la Planificación Estratégica y ahora Ambiental.

**Formulación y fundamentos del problema a investigar.** Es sabido lo complejo que resulta recopilar información y proceder a su análisis para ordenar y clasificar contenidos, limitando su acción a lo más relevante y fidedigno. A su vez deben conocerse las variables utilizadas, indicadores, métodos de ponderación y fórmulas para determinación, por ejemplo de rango-jerarquía y modelos gravitacionales que permitan diagnosticar. La mayor parte de la información está dispersa (en las reparticiones del Estado provincial) y por ende no está procesada para su uso racional. Fundamenta nuestra propuesta la posibilidad de nuclear en un ámbito de nivel universitario, de por sí ajeno a los vaivenes de la política, con seriedad académica y responsabilidad, la totalidad de la información para ponerla al servicio tanto del Estado como de las Instituciones Públicas y Privadas afines a la temática.

## OBJETIVOS

Organizar un Banco de Datos a nivel Universitario Estatal que recopile, ordene, clasifique y procese toda la información inherente a la Planificación territorial, regional y local de Mendoza y que además, mediante una retroalimentación y actualización permanente de dicha información fidedigna, permita realizar la Diagnósis y Prognósis de cada dimensión geográfica, social, económica, ambiental y/o político administrativa, con la aplicación de indicadores, índices, variables, y otros elementos de clasificación o ponderación, que a nivel metodológico sustenten la formulación e implementación de planes, programas y proyectos.

Debiendo ser las políticas deseables y factibles, se establecen estratégicamente en función de Dimensiones que en este caso son:

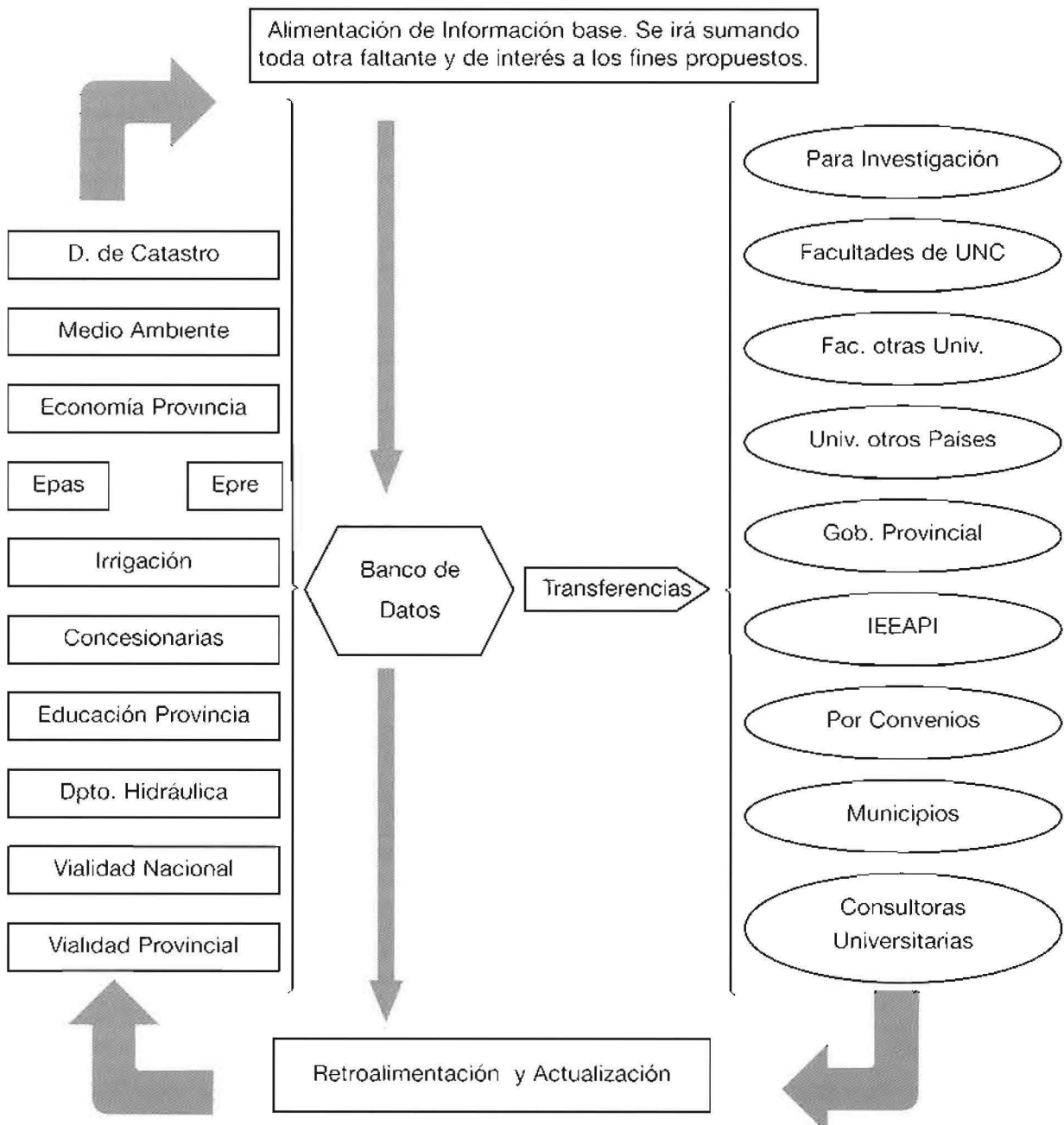
A) Dimensión Social: Dirigida a la población humana, su clasificación y cantidad, porcentajes, etc. Ejemplo, búsqueda de incremento de las oportunidades de empleo en los centros urbanos. Relación ingreso con calidad de vida.

B) Dimensión Físico – Espacial: Hace al soporte territorial, clima, usos, equipamiento y servicios, transporte, etc. Ejemplo, consolidar el sistema relativo de centros que equilibre la acción de los polos de desarrollo como sería el área Metropolitana.

C) Dimensión Ambiental: Hace a la calidad de vida, al bienestar y a la protección de nuestro patrimonio. Ejemplo, control del crecimiento urbano sobre áreas vitales o de peligro para asentamiento humano.

D) Dimensión Político – Administrativa: el rol del gobierno. Ejemplo, reorientar la inversión de cada Municipio o Micro- región en función de su riqueza potencial y demandas sociales.

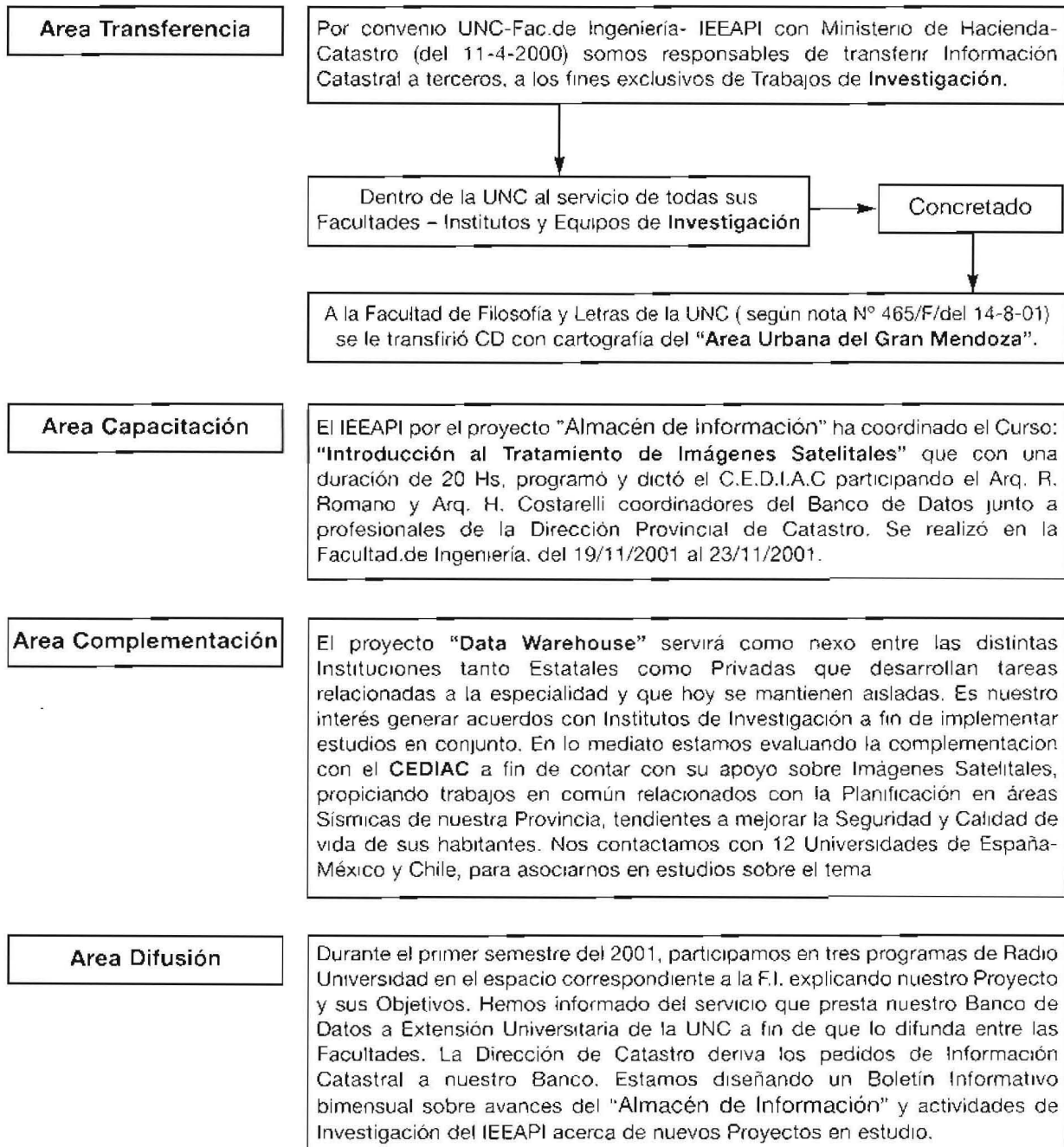
Los objetivos apuntan a maximizar los recursos disponibles, minimizar costos y disponer de una herramienta fundamental para encarar cualquier plan estratégico para el desarrollo urbano.





## AVANCE EN LOS OBJETIVOS

Estamos definiendo los parámetros que nos permitan alcanzar la máxima compatibilidad en la diversidad de la información receptada y de la que está en trámite de conseguirse. La burocracia tanto de las reparticiones centralizadas, como autárquicas del gobierno, nos está insumiendo un mayor tiempo en trámites que afectan nuestra dedicación. Se suma a lo precedente el hecho de la privatización de gran parte del servicio público producido en la última década en la provincia, que nos impone gestionar convenios entre la UNC- F.de I. y cada una de las Empresas Concesionarias. No obstante esta situación de la que somos conscientes desde la propuesta de este Proyecto, hemos generado a la fecha acciones en Áreas que sustentan la importancia del Proyecto de Banco de Datos como una HERRAMIENTA indispensable de consulta al servicio de quienes requieran este tipo de Información Especializada y única en el ámbito de la Facultad de Ingeniería.



# Criterio ambiental volumétrico para el cálculo patrimonial y de necesidades urbanísticas en espacios verdes

Ramón Codina<sup>1</sup>

Jorge Barón<sup>2</sup>

## RESUMEN

Los espacios verdes y en general la vegetación que cumple funciones de protección son valorados, medidos y calculados por el área destinada a esa función, más que por los elementos vegetales relacionados. Esto significa una simplificación excesiva de la valoración de la vegetación, que no aporta criterios de cuantificación valorativa, necesarios en la actualidad, tanto para preservar vegetación existente, como para proyectar en ingeniería del mejoramiento ambiental.

En el presente trabajo se propone un concepto nuevo de valoración de los elementos vegetales, que se apoya en su influencia como mejoradores ambientales. Se determinan índices de valoración de la vegetación, como el Índice de Vegetación Ambientalmente Activa por unidad de área afectada a portar vegetación y el Índice Ambiental Urbanístico, que permiten cuantificar la importancia urbanística y ambiental de la vegetación. También se propone un nuevo concepto para calcular la necesidad de áreas verdes en proyectos urbanísticos y en áreas de amortiguación industriales, basado en el volumen de vegetación que debe existir en las áreas que normalmente se destinan a espacios verdes.

## PALABRA CLAVE:

Cálculo volumétrico vegetación; valoración espacios verdes; parámetros ambientales; cálculo ambiental vegetación; índice vegetación ambientalmente activa, índice volumétrico vegetación/habitante.

## SUMMARY

The green spaces and, in general, the protective vegetation, are valued, measured and calculated by the area designated to that function rather than by the related vegetable elements. This means that an excessive simplification on the vegetation recognition is used, which does not provide quantitative valuation criteria. These criteria are presently needed both in preserving the existing vegetation, and in projecting tasks for environment improvement engineering.

In this work, it is proposed a new valuation concept for the vegetable elements, based on their influence as environment improvers. Vegetation valuation indexes are defined, such as the Environmentally Active Vegetation Index per area unit affected to give vegetation and the Urban Environment Index. These indexes allow the quantitative evaluation of the urban and environmental

---

1. Ing. Agrónomo, docente Fac. Ciencias Agrarias, UNCuyo, e-mail: racodina@supernet.com.

2. Dr. Ingeniero. Director Carrera Doctorado en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, UNCuyo, e-mail: jbaron@cediac.uncu.edu.ar

N. de R.: Este trabajo corresponde a la primera tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental defendida en esta Facultad.



value of the vegetation. A new concept for calculating the need of green areas both in urban and in industrial protection areas is also proposed. It is based on the vegetation volume needs in the areas usually devoted to green spaces.

## KEY WORDS:

Vegetation volumetric calculation; green spaces value; environmental parameters; vegetation ambient calculation; environmentally active vegetation index; vegetation/inhabitant volumetric index.

## INTRODUCCION

Los espacios verdes y en general la vegetación con uso ornamental y de protección contra factores adversos, constituyen un factor de mejoramiento ambiental de gran importancia para la vida del ser humano moderno y deben ser considerados como integrantes importantes del patrimonio natural que pertenece a la comunidad, junto con el resto de los recursos naturales renovables.

La mejora ambiental debida a la presencia de vegetación, ha sido cuantificada por numerosos autores que han trabajado en diferentes aspectos de la misma, y constituye la base sobre la que se asienta el criterio de valoración vegetal que se propone en este trabajo. Ese mejoramiento ambiental, justifica el criterio valorativo de considerar a los vegetales como elementos naturales que resultan esenciales para contrarrestar, al menos en parte, los desequilibrios que ocurren en los conglomerados humanos, desde el punto de vista de la higiene y la estética del ambiente.

El primer paso para lograr el incremento de la presencia de elementos vegetales en ciudades, es el establecimiento de elementos de juicio cuantitativo que ayuden a los profesionales en la defensa de esos elementos representativos de la naturaleza, tanto en la protección de ejemplares existentes, como en el mejoramiento de los efectos ambientales de proyectos de ingeniería y arquitectura, frente a criterios orientados por utilitarismos económicos inmediatos.

Entre los elementos naturales que tienden a mitigar la artificialización del medio, se encuentran los vegetales. Es posible verificar que el desarrollo urbano significa casi siempre una retrogradación de la cubierta vegetal preexistente, por lo que la valoración adecuada de los elementos vegetales será siempre un factor esencial para adecuar los proyectos de desarrollo y protección del medio, en un justo balance con la conservación de la naturaleza, buscando que las acciones humanas sean siempre sustentables.

El presente trabajo provee elementos de juicio cuantitativo, que en manos de los técnicos, servirán para hacer evidentes las ventajas que para la vida del hombre representa la vegetación considerada como mejorador ambiental. Dichos elementos son:

1. Un criterio novedoso de tipo ambiental integral basado en cálculos volumétricos de vegetación, que permite alcanzar mayor exactitud en la valoración ambiental de espacios verdes existentes y en el cálculo de necesidades de áreas verdes en planificación urbana y en áreas de amortiguación de instalaciones industriales.
2. Una nueva herramienta de cálculo en el área profesional de la ingeniería ambiental, de utilidad práctica en el desarrollo de proyectos de mejora ambiental donde se contemple la creación de áreas verdes.
3. Parámetros cuantitativos para comparación y evaluación de proyectos relacionados con el manejo o desarrollo de áreas verdes y proyectos de mejora ambiental.
4. Una nueva metodología de valoración de la vegetación, en base a parámetros cuantitativos fundamentados en la mejora ambiental, para el desarrollo de estudios de Evaluación de Impacto Ambiental en lo referente a la influencia de la vegetación existente y/o programada en proyectos urbanísticos, turísticos e industriales.
5. Una metodología más adecuada a las necesidades actuales que contemple el valor ambiental de los ejemplares vegetales, que pueda servir de base para la determinación del valor relativo y

comparativo de elementos vegetales para ser utilizada en procesos legales, normativa de preservación ambiental y tasaciones urbanas y rurales. Esta metodología servirá de base para el desarrollo de nuevos criterios de evaluación económica del elemento vegetal, desde la óptica de la mejora ambiental.

## VALORACION DE ESPACIOS VERDES EXISTENTES

Se sostiene la necesidad de incorporar un nuevo criterio para la valoración cuantitativa de espacios verdes existentes y para el cálculo de las necesidades de verde planificado en asentamientos urbanísticos e industriales, que se fundamente en la influencia de la vegetación como mejorador ambiental de factores microclimáticos y paisajísticos, así como elemento mitigador de factores contaminantes.

Para ello, se propone medir y valorar los espacios verdes existentes considerando un Índice que se ha denominado **INDICE AMBIENTAL-URBANISTICO**, calculado en base al **INDICE VOLUMETRICO DE VEGETACION ACTIVA**, referido a la superficie ocupada por vegetación o destinada a portar vegetación.

El **INDICE VOLUMETRICO DE VEGETACION ACTIVA**, cuyas unidades son  $m^3 / m^2$ , indica la cantidad de vegetación ambientalmente activa en volumen de espacio ocupado por vegetación, por unidad de superficie de terreno afectado a espacio verde.

El terreno afectado a espacio verde, o "**superficie verde efectiva**", debe considerarse como la superficie que realmente porta vegetación, o incluyendo terreno desnudo portante de árboles y/o arbustos, habiéndose descontado de la superficie total del predio considerado, toda superficie cubierta o pavimentada donde no sea posible establecer vegetación.

### Sobre el concepto de "Vegetación Activa"

La vegetación (arbórea, arbustiva y herbácea) interactúa con el ambiente produciendo en general efectos de mejora de las condiciones físicas y químicas según las necesidades del hábitat humano, tanto en los parámetros climáticos y microclimáticos como en los factores contaminantes del ambiente.

Esta interacción se verifica siempre en **relación directa al área foliar y su parámetro relacionado, el volumen de espacio ocupado por vegetación**. La **persistencia o caducidad del follaje, su textura, su densidad o transparencia, su estado fisiológico y su esperanza de vida**, son los condicionantes principales que modifican la eficiencia de la vegetación en el efecto sobre la mejora ambiental enunciada.

Esto está corroborado por numerosas experiencias y mediciones que se rescatan de la bibliografía. En consecuencia, la **persistencia, textura y densidad del follaje, estado fisiológico y esperanza de vida** deben intervenir en el cálculo del **VOLUMEN DE VEGETACION ACTIVA**, mediante factores de corrección, que modifican el valor del Volumen de Vegetación.

### Elección del rango de variación de los factores.

Los factores correctivos por persistencia, textura y densidad del follaje, estado fisiológico y esperanza de vida, corresponden a calificación de elementos de características **intrínsecas** del vegetal, que influyen en la calidad del ambiente en forma independiente y para valorar su rango de variación, se seguirá el criterio descrito por GOMEZ OREA, D. (8) (p. 76), para el desarrollo de Funciones de Transformación de la Calidad Ambiental según variaciones de los Factores Ambientales. El rango en que varía la Calidad Ambiental para cada factor considerado, está entre 0 y 1.

Según la forma matemática del índice propuesto, factores con valor nulo carecen de sentido, salvo en el caso especial del factor estado fisiológico, que corresponde un valor 0 para un ejemplar muerto, con lo que su valor ambiental queda anulado. Para los demás factores intrínsecos el rango de variación seleccionado será de 0,1 a 1, con valores según las categorías de variación expuestas a continuación, para cada uno de los factores mencionados.



**Factor Persistencia del follaje (F.P.)**

Se considera un factor de 0,1 a 1, según período anual (fracción anual en meses) en que la especie permanece con hojas, en el lugar considerado. Siendo 0,1 para las especies afilias y 1 para las persistentes, como extremos.

Tipo de follaje	fracción anual con hojas	F.P. [adimensional]
áfilo	0	0,1
caduco (temprano)	0,4 a 0,49	0,25
caduco (medio)	0,5 a 0,59	0,5
caduco (tardío)	0,6 a 0,8	0,7
semi-persistente	0,8 a 0,9	0,8
persistente	0,9 a 1	1

**Factor Textura del follaje (F.T.)**

Se consideran las especies, tanto arbóreas como arbustivas y herbáceas, incluidas en una de cinco categorías según la textura de su follaje : Muy Fina, Fina, Media, Gruesa y Muy Gruesa. El tamaño medio del elemento foliar considerado en su **menor dimensión o ancho**, es lo que caracteriza a la textura desde el punto de vista de su acción en el efecto de filtrado del aire, que es básico en la influencia ambiental del vegetal.

Según experiencias publicadas de varios autores, entre ellos puede citarse a SEOANEZ CALVO, M.(26) (P.221) ; Mc PHERSON, G. (15) (P.64); PESSON, P. (20) (P. 70), en general puede decirse que el efecto ambiental de la vegetación es mayor a menor tamaño de los elementos foliares, ya que los fenómenos involucrados son dependientes fuertemente de la superficie de contacto hoja- aire y en general las especies que poseen hojas más pequeñas presentan mayor número de ellas por espacio de copa.

En base a esto, se propone la siguiente escala de textura, ancho medio correspondiente a la menor dimensión del elemento foliar y factor F.T.

Textura del follaje	ancho medio (mm)	F.T. [adimensional]
muy fina	< 2	1
fina	2 a 5	0,8
media	5 a 100	0,5
gruesa	100 a 500	0,3
muy gruesa	> 500	0,1

**Factor Densidad del follaje (F.D.)**

La densidad del follaje es una característica de gran importancia en la determinación de la influencia ambiental de las especies. Normalmente las estimaciones que se realizan de esta característica vegetal, se basan en apreciaciones cualitativas que pueden variar de un profesional a otro, por lo que se ha tratado de introducir un concepto cuantitativo de valoración, basado en la intercepción lumínica producida por el follaje. A través de la intercepción lumínica se estima la densidad de follaje que corresponde a una determinada categoría. Mediante mediciones con luminómetro, se puede establecer un valor numérico que varía entre los distintos elementos vegetales de la misma especie dentro de un cierto rango.

En base al Coeficiente de Intercepción Lumínica estimativo (C.I.L.) de cada especie, se establecen cinco categorías de densidad del follaje (Muy alta, Alta, Media, Baja y Muy baja). Dicho coeficiente se calcula como:

$$C.I.L. = (L.D. - L.C.) / L.D. \text{ [adimensional]}$$

donde:

- C.I.L. : Coeficiente intercepción lumínica estimativo  
 L.D. : Luz directa  
 L.C. : Luz transmitida por la copa

El C.I.L. se usa para catalogar la densidad de follaje, y siguiendo a SEOANEZ CALVO, M. (26) (p. 218), se considera que a mayor densidad del follaje en un vegetal considerado, sus efectos ambientales aumentan, por lo que se asigna el mayor valor a la mayor categoría de densidad de follaje, disminuyendo los valores para el resto de las categorías de acuerdo a la siguiente escala.:

C.I.L	Densidad del follaje	F.D. [adimensional]
0,960 a 0,999	MUY ALTA	1
0,920 a 0,959	ALTA	0.8
0,880 a 0,919	MEDIA	0.5
0,840 a 0,879	BAJA	0.3
0,800 a 0,839	MUY BAJA	0.1

#### Factor Estado Fisiológico y Sanitario ( F.E.)

La capacidad de mejora ambiental e influencia sobre el ambiente que produce un vegetal, es influenciada por su estado fisiológico y nutricional, ya que plantas debilitadas manifiestan síntomas en su ritmo de crecimiento y características del follaje (disminución del vigor y área foliar, comparando con plantas sanas) que tienen repercusión directa en el efecto producido por el ejemplar sobre el medio. De igual manera, la incidencia de plagas y enfermedades en general disminuyen el valor ambiental de las especies, por lo que estos elementos de juicio deben ser tenidos en cuenta en el análisis del valor ambiental de los elementos vegetales.

Se ponderará en forma global el estado fisiológico, nutricional y sanitario del vegetal, teniendo en cuenta la incidencia de factores adversos (enfermedades y plagas) y su grado de recuperabilidad de ser posibles tratamientos adecuados. En base a la observación detallada, se establecerá la ubicación del ejemplar en una de las siguientes categorías: ejemplar muerto, muy deteriorado, débil recuperable, mediano, bueno y óptimo.

Para asignar valores a cada categoría, se sigue a NOVAK, D., citado por Mc PHERSON, G. (15) (p. 6), en la determinación de puntaje de corrección según estado del vegetal, para ecuaciones de estimación de Área Foliar, en árboles de Chicago, en base a las dimensiones de la copa, la superficie exterior y el coeficiente de sombra de la especie. Se obtiene la siguiente tabla:

Categoría	F.E. [adimensional]
Ejemplar muerto	0
Muy deteriorado	0,1
Débil recuperable	0,3
Mediano	0,6
Bueno	0,8
Óptimo	1



**Factor Esperanza de Vida (F.E.V.)**

El efecto ambiental de un elemento vegetal, está condicionado a la duración en el tiempo de ese efecto, por lo que siempre será deseable que los componentes volumétricos básicos del paisaje (en especial árboles y arbustos) posean condiciones de una adecuada durabilidad o esperanza de vida.

Esto también está relacionado con la sustentabilidad de los espacios, toda vez que la baja durabilidad de ciertas especies obligan a tareas de reposición, con el consecuente costo adicional en mantenimiento.

Por estos motivos se deben valorar con calificativos más altos a las especies más longevas dentro de los espacios estudiados.

Se clasificarán los ejemplares con un puntaje de 1 a 0,1, según la esperanza de vida a partir del momento en que se releva la situación, de acuerdo a la siguiente escala:

Esperanza de vida [años]	F.E.V. [adimensional]
>100	1
50 a 100	0,8
30 a 50	0,5
10 a 30	0,3
< 10	0,1

**Volumen de Vegetación Activa**

En base a la consideración de los factores de corrección, el VOLUMEN DE VEGETACION ACTIVA (V.V.A.) del lugar considerado, resulta:

$$V.V.A. = (V.V.) \times (F.P.) \times (F.T.) \times (F.D.) \times (F.E.) \times (F.E.V.) \quad [m^3]$$

donde V.V. = volumen (real) de vegetación

F.P. = factor persistencia del follaje

F.T. = factor textura del follaje

F.D. = factor densidad del follaje

F.E. = factor estado fisiológico

F.E.V. = factor esperanza de vida

Ahora bien, el concepto de Volumen de Vegetación Activa adquiere verdadera significación y valor comparativo cuando se lo relaciona con el área afectada para sustentar ese volumen de vegetación. En este sentido es necesario referirlo al valor de la "Superficie verde efectiva" para obtener el Índice Volumétrico de Vegetación Activa. La superficie verde efectiva, como se ha definido antes, es el área afectada realmente a sustentar vegetación, luego de descontar todas las superficies ocupadas con elementos constructivos, pavimentos y vías de circulación dentro del espacio considerado.

Para cálculos en ejemplares aislados, se tomará como superficie verde efectiva o superficie efectiva, el área ocupada por la proyección de la copa sobre el terreno.

## INDICE VOLUMETRICO DE VEGETACION ACTIVA

El Índice Volumétrico de Vegetación Activa, (I.V.V.A.), es el primer parámetro de importancia en la caracterización del valor ambiental de un grupo de ejemplares vegetales, o incluso de un vegetal aislado, y queda definido por:

$$\text{I.V.V.A.} = \text{V.V.A.} / \text{superficie verde efectiva} \quad [ \text{m}^3/\text{m}^2 ]$$

Resultan así valores de utilidad comparativa entre sectores que si bien pueden tener el mismo volumen de vegetación, presentan índices diferentes según sea el área destinada efectivamente a ser ocupada por elementos verdes.

Este índice tiene aplicación práctica para ser utilizado en la valoración de áreas que sustentan vegetación, en análisis ambiental de situaciones que involucran la existencia de vegetación por ser un parámetro objetivo de cálculo, obtenido en función de la actuación ambiental de las especies.

### Formas y Volúmenes Vegetales

El volumen de vegetación de un elemento vegetal, especialmente en lo que se refiere al volumen de fronda, o espacio ocupado por el follaje, está directamente relacionado con la forma que adopta la copa y sus dimensiones, tanto en árboles, como en arbustos y herbáceas.

Es necesario advertir que la forma está determinada por la expresión fenotípica de la especie para las condiciones del sitio, tiene variaciones de un lugar a otro y puede ser modificada de manera permanente o temporaria por la intervención del hombre (podas) y por ocurrencia de accidentes ambientales (rayos, fuegos, animales).

A su vez, las dimensiones generales del vegetal y su evolución a lo largo del tiempo, son producto también de la interacción entre factores fenotípicos y las características del sitio, por lo que el volumen de vegetación es una característica particular de cada lugar en interacción con las especies existentes en él y por lo tanto una medida válida para la evaluación ambiental del conjunto formado por los elementos vegetales y los componentes físicos.

En el relevamiento de los volúmenes de vegetación de ornamentales y en general de vegetación de protección ambiental, pueden presentarse los siguientes casos de formas básicas, idealizadas a los tipos geométricos más próximos: esférica, cilíndrica, cónica, elipsoidal, paralelepípeda, o irregular. Algunas de estas formas básicas pueden tener variaciones. Las más comunes, junto con sus fórmulas volumétricas y parámetros de medida (radios, alturas, etc.) utilizables para el cálculo, se presentan a continuación:

**FORMA ESFERICA:** Dada una esfera de radio  $r$ , su volumen está determinado por:  $V = 4/3 \pi r^3$

Ejemplos : poseen esta forma, la más común en el reino vegetal, un sinnúmero de especies, entre ellas: *Ulmus carpiniifolia* Umbraculifera, *Acer negundo*, *Fraxinus excelsior*, *Fraxinus americana*, *Robinia pseudoacacia* Umbraculifera, *Salix babylonica*, *Prosopis chilensis*, *Ligustrum lucidum*, *Chaenomeles lagenaria*, *Viburnum tinus*, *Buxus sempervirens*, *Viburnum tinus*, *Washingtonia filifera*, *Phoenix canariensis*, *Trachycarpus fortunei*.

Forma derivada: **CASQUETE ESFERICO.** Dado un casquete esférico de radio de la esfera  $r$  y altura  $h$ , su volumen es:  $V = 1/3 \pi h^2 (3r - h)$

Ejemplos: *Melia azedarach* Umbraculifera, y muchos ejemplares de copa esférica modificada por agentes externos.

**FORMA CILINDRICA.** Dado un cilindro de circular recto de radio  $r$  y altura  $h$ , su volumen es:

$$V = \pi r^2 h$$



Ejemplos: en general las siluetas columnares se asimilan a esta forma, tales como en *Cupressus sempervirens* *Stricta*, *Populus nigra* *Italica*, *Populus nigra* *Thaisiana*, *Populus alba* *Bolleana*.

FORMA CONICA. Dado un cono circular recto de radio  $r$  y altura  $h$ , su volumen es:  $V = 1/3 \pi r^2 h$

Ejemplos : *Cedrus deodara*, *Cedrus atlantica*, *Cupressus sempervirens* *Horizontalis*, *Pinus griffithii*, *Pinus canariensis*, *Cupressus arizonica*, *Cupressus macrocarpa*, *Thuja orientalis*, *Chamaecyparis lawsoniana*

Forma derivada: TRONCO DE CONO. Dado un tronco de cono circular recto de radio mayor  $b$ ; radio menor  $a$  y altura  $h$ , su volumen es:  $V = 1/3 \pi h ( a^2 + a b + b^2 )$

Ejemplos: pueden adoptar esta forma de copa, muchas especies que teniendo disposición natural a la copa cónica, han sido mutiladas o deformadas por intervención humana, tales como coníferas varias.

FORMA ELIPSOIDAL. Dado un elipsoide de semiejes  $a, b, c$ , su volumen es:  $V = 1/3 \pi a b c$

Ejemplos de copa elipsoide, se encuentran en *Eucalyptus camaldulensis*, *Populus x Euroamericana*, *Magnolia grandiflora*, *Tilia cordata*, *Maytenus boaria*,

FORMA PARALELEPIPEDA. Dado un paralelepípedo rectángulo de longitud  $a$ , altura  $b$  y anchura  $c$ , su volumen es :  $V = a . b . c$

FORMA PARALELEPIPEDA TRAPEZOIDAL. Dado un paralelepípedo trapezoidal de base mayor  $a$ , base menor  $b$ , largo  $c$  y altura  $h$ , su volumen es:  $V = [(a + b) h / 2 ] c$

Ejemplos de formas paralelepípedas y paralelepípedas trapezoidales, se encuentran en un sinnúmero de casos de setos recortados utilizados como delimitantes y defensivos en espacios verdes y predios en general. Como especies frecuentes conducidas de estas formas podemos mencionar: *Thuja orientalis*, *Pyracantha coccinea*, *Ligustrum sinense*.

FORMA IRREGULAR. Las formas irregulares permiten estimar el volumen de vegetación si se asimilan a las formas regulares más próximas. Esto puede hacerse en general para toda la copa o por sectores, dependiendo del grado de la irregularidad y de la exactitud que se quiera lograr en el cómputo del ejemplar considerado.

Ejemplos: Este tipo de copa puede encontrarse en cualquier especie que haya sufrido mutilaciones, pero en general son pocas las que presentan esta forma producida fenotípicamente. Entre las más comunes se encuentran : *Chorisia insignis*, *Robinia pseudoacacia*, *Casuarina cunnighamiana*.

## INDICE AMBIENTAL-URBANISTICO

El Índice Volumétrico de Vegetación Activa, definido antes, es un indicador del valor ambiental de un lugar, según los elementos volumétricos vegetales y sus condicionantes de tipo **intrínseco** (características del follaje, estado, longevidad), pero puede no ser suficiente como parámetro de juicio valorativo en problemas de ingeniería, ya que un elemento vegetal reviste además valores especiales en cuanto a la utilidad ambiental que presta al hombre, según el **lugar donde se encuentra**.

También se debe considerar el efecto **paisajístico** producido por cada elemento vegetal o su conjunto, por ser este un criterio decisivo para la valoración del hábitat humano. Piénsese solamente en el valor que adquieren las propiedades por hallarse ubicadas en entornos paisajísticamente agradables, o simplemente por poseer vegetación interesante. No es necesario fundamentar aquí el hecho comprobado de la utilidad que presta el paisaje vegetal en el valor o el atractivo turístico de un determinado lugar. Un solo ejemplo basta para ilustrar lo dicho: imaginar la ciudad capital de Mendoza sin la presencia arbórea en sus calles, el patético contraste marca el valor altamente positivo del elemento vegetal urbano.

Es claro que en todos estos casos, la vegetación debe ser estudiada para encontrar su valor paisajístico desde dos líneas de análisis: **la utilidad funcional y la calidad estética**. En ambos casos

existe la posibilidad de que los elementos vegetales puedan ser valorados en forma alta o baja. Vale decir que un árbol puede estar cumpliendo una función ambiental (poseyendo un elevado índice de vegetación ambientalmente activa) pero también puede hallarse ubicado en un lugar inadecuado, produciendo sombra donde se requiere asoleamiento invernal (déficit de utilidad funcional), o constituyendo un factor de riesgo, u otra razón por la que su valor disminuirá en consecuencia.

También son necesarias de tener en cuenta valoraciones especiales de los elementos vegetales existentes, desde el punto de vista **ecológico** y desde el punto de vista **cultural**. En ocasiones ambos puntos de vista no pueden separarse, ya que lo ecológico estrictamente también abarca lo cultural.

Al respecto, caben las siguientes consideraciones, en una aproximación conceptual al tema. La vegetación además de las funciones señaladas, pueden revestir interés especial como elementos productores de mayor biodiversidad, lo cual es un tópico a tener en cuenta en los conglomerados urbanos y también en las zonas de producción agrícola. En los primeros, porque además de poseer importancia su sola existencia (a veces son especies raras) significan un elemento productor de hábitat de especies animales que de otra manera tienden a desaparecer (aves). En las segundas, porque significan factores de aumento de la biodiversidad cuando la tendencia en los cultivos es producir grandes extensiones monoespecíficas, lo cual puede acarrear desequilibrios que perjudican los mismos sistemas productivos (por ejemplo la reducción de hábitats puede desencadenar plagas por desaparición de enemigos naturales).

Desde el punto de vista cultural también es importante considerar la posibilidad de calificar la presencia vegetal junto al hombre. Existen hitos históricos que son jalonados por vegetales, por lo que ciertos ejemplares pueden tener especial valor para la comunidad. Otra consideración es la función de la vegetación como elemento favorecedor del proceso educativo (inducir la apreciación de la naturaleza en la niñez como primer paso para que el ciudadano el día de mañana la respete). En lo cultural también debe considerarse el valor científico que pueden tener las especies y ejemplares vegetales por múltiples motivos.

Este carácter de deseabilidad del elemento vegetal, es difícil de medir cuando se trata de mejoramiento ambiental global del hábitat humano, sin embargo, seguidamente se tratará de desarrollar elementos valorativos suficientemente simples como para tener aplicación práctica, que puedan ser traducidos en valores numéricos e integrar la ecuación de cálculo.

En general, la vegetación reviste una importancia mayor a medida que su presencia es más rara, ya sea por tratarse de especies poco frecuentes en el lugar, o por endemismos, o casos de adaptación a circunstancias extremas, aunque también puede tratarse de especies comunes pero existentes en lugares donde la vegetación tiende a desaparecer por la urbanización. Este es un elemento de juicio valorativo esencial para medir el valor ambiental urbanístico y paisajístico de la vegetación.

Los espacios verdes existentes, pueden ser categorizados y evaluados por el Índice Ambiental Urbanístico (IAU), a efectos de poder establecer comparaciones cuantitativas, en evaluaciones de impacto ambiental, valoración de proyectos, cálculos patrimoniales de verde existente (urbano y extra-urbano), relevamientos, etc.

El valor ambiental - urbanístico de un espacio verde existente, depende, además del I.V.V.A. (Índice Volumétrico de Vegetación Activa) como valor básico, ya definido, de dos variables principales :

- la **Ubicación respecto del conglomerado urbanizado;** y
- su **ponderación Paisajística, ecológica y cultural.**

#### **Factor de Ubicación Urbana**

Para encontrar el Factor de Ubicación Urbana de la vegetación en estudio, se propone seguir lo sugerido por FINES, K. D. (Landscape evaluation: A research project in East Sussex, 1968) citado por CONESA FDEZ.-VITORA, V. (4) (P 205-206) para evaluar la ubicación de componentes paisajísticos. Fines utiliza la relación (P/d) que luego actúa como factor en la ecuación de cálculo del valor del paisaje. Los factores P y d, se encuentran según la siguiente escala:



Nº habitantes	P [adimensional]	Distancia (km)	d [adim.]
1- 1000	1	0-1	1
1000-2000	2	1-2	2
2000-4000	3	2-4	3
4000-8000	4	4-6	4
8000-16000	5	6-8	5
16000-50000	6	8-10	6
50000-100000	7	10-15	7
100000-500000	8	15-25	8
500000-1000000	9	25-50	9
> 1000000	10	> 50	10

El cálculo del Factor de Ubicación Urbana ( F.u.), se realiza de acuerdo a la siguiente relación:

$$F.u. = P/d \text{ [adimensional]}$$

El valor Distancia en km. se toma entre el centro geográfico del núcleo urbano y el centro del elemento o grupal vegetal considerados

#### Factor Paisajístico-ecológico y cultural

Se dará un valor al espacio verde, grupo vegetal o ejemplar aislado considerado según su aptitud para mejorar el paisaje siguiendo criterios funcionales y estéticos, así como su posible connotación especial por valores culturales y /o ecológicos que deban ser considerados, según el lugar donde se esté trabajando.

Para dar valores numéricos a la calidad del paisaje dentro de un rango de variación, se propone usar los lineamientos indicados por JONES, G.R. et al. (1976), quien desarrolla una aplicación cuantitativa de los conceptos cualitativos de LITTON, R. B. (1968), citados ambos autores por CLAVER FARIAS, I. (3) (P.330) redefiniendo las categorías que mejor se adaptan a los requerimientos de la nueva metodología.

Ante todo es necesario considerar que el valor paisajístico no es solamente sustentado por categorías estéticas sino que fundamentalmente se debe partir de lo funcional para luego considerar lo estético. Lo funcional está dado por los requerimientos de servicio que el usuario necesita del vegetal (sombra o asoleamiento, protección, delimitación, mejoramiento microclimático) que por necesidad debe ser considerado antes que la belleza, pero también incluye la exclusión con un cierto grado de certeza, del riesgo accidental y/o higiénico que el vegetal pueda significar (caída de ramas o volcado de árboles por vientos, espinas muy agresivas, frutos carnosos en veredas, troncos a corta distancia de vías rápidas de circulación vehicular, etc.). Esto es claramente válido en el caso de que se esté considerando vegetación cultivada. Pero también lo es en casos de tratarse de vegetación natural, pues siempre será necesario por ejemplo, trazar caminos en áreas naturales aunque sean de gran belleza escénica, para que el usuario pueda acceder a su contemplación. De manera que lo funcional debe ser la consideración básica de la valoración paisajística integral de la vegetación.

La valoración estética o determinación de la calidad visual a través del establecimiento de categorías o clases de valor a las cuales asignar puntajes numéricos, puede efectuarse analizando básicamente la **unidad** de la composición y su **fuerza o intensidad atractiva**, a condición de que el juicio de valor sea efectuado por una persona de sensibilidad y sentido crítico ejercitado, aunque siempre este tipo de elecciones categóricas se mueven en el campo de la subjetividad. Por tal motivo, la asignación de puntajes a las categorías debe estar balanceado convenientemente entre el juicio técnico (avalado por la experiencia previa) que debe aplicarse en la valoración funcional y la naturalidad, y el juicio subjetivo sobre la belleza fundado en la sensibilidad, que posee componentes tanto culturales como instintivos. En base a esto, la valoración estética será balanceada en su puntaje con la funcional y con la naturalidad, a través de la media aritmética de las tres variables como se indica más adelante.

Las categorías a evaluar, los rangos de variación de puntaje a asignar y los criterios propuestos para encontrar el valor del **Factor Paisajístico, ecológico y cultural (F.p.)** son los siguientes: **Funcionalidad, Calidad visual y Naturalidad, valor ecológico y cultural.**

**- Funcionalidad.**

Se analiza la **aptitud** del vegetal para cumplir la función requerida por el usuario, considerando primero si existe situación de **riesgo** motivada por las características del vegetal (madera frágil, tronco carcomido, elementos anatómicos indeseables, etc.) o por el uso del espacio circundante que transforman al vegetal en un elemento indeseable o peligroso. Ejemplo: mala ubicación respecto a una vía de circulación, por razones de obstrucción de visibilidad, riesgo de colisión, o respecto a líneas eléctricas, etc.

La escala de clasificación y el rango de puntaje a asignar es:

Concepto funcional	valor
Alta funcionalidad. Riesgo nulo	6 a 7
Media funcionalidad. Riesgo levemente posible	3 a 6
Nula a baja funcionalidad. Riesgo alto a posible	0 a 3

En caso de que el riesgo sea alto, la seguridad debe ser catalogada como deficiente y el puntaje de la funcionalidad sin más análisis será 0, sin entrar a considerar el valor estético y ecológico, lo que carecería de sentido. Este valor 0 será trasladado al F.p. , el que a su vez anulará el valor del Índice Ambiental Urbanístico, como consecuencia de lo cual será aconsejable la tramitación de la correspondiente autorización de erradicación del o de los vegetales considerados, ante los organismos pertinentes (Dirección de Recursos Naturales Renovables y Municipio correspondiente). En caso de que el riesgo sea juzgado como leve y factible de solución técnica, como por ejemplo mediante un apuntalamiento, traslado de servicios, podas equilibrantes, etc., se dará un puntaje intermedio. De igual modo, si el ejemplar cumple funciones en forma no acabada, pero permite ser tolerado por otras características deseables (ejemplo: un árbol de hoja persistente que proyecta sombra durante varias horas del día en invierno contra una ventana en la que se desearía más insolación en esa parte del año, pero que sin embargo se lo respeta por ser de alta calidad estética, crear un entorno adecuado a otras especies más delicadas, hallarse en óptimo estado, ser una especie muy longeva o rara, y otras muchas razones posibles).

El mayor valor se asigna lógicamente a los ejemplares de alta funcionalidad y seguridad.

**- Calidad visual**

Se analiza la belleza escénica que sugiere el vegetal o su conjunto, como enaltecedores de la capacidad de acogida del espacio circundante o como elemento estético en sí mismo, según el grado de captación del interés en su contemplación por parte del usuario.

La escala a aplicar de categorías conceptuales y sus valores es:

Concepto estético	valor
Espectacular	7
Muy atractivo	6
Distinguido	5
Agradable	4
Vulgar	3
Neutro	2
Desagradable	1



### - Naturalidad, valor ecológico y cultural.

La naturalidad será calificada según el grado de condición natural del aspecto del paisaje vegetal, ya sea de origen espontáneo (vegetación autóctona) o cultivada (diseño apaisado). Se otorga el mayor puntaje a la distribución de vegetación siguiendo lineamientos naturales por ser ésta la tendencia mundial prevaleciente en la actualidad en cuanto a la apreciación paisajística del usuario.

El **valor ecológico** será asignado según la importancia de los elementos vegetales desde el punto de vista de su integración con el medio biótico y abiótico, según la rareza de las especies presentes (endemismos, especies únicas, etc.), su utilidad para otras formas de vida (especies colonizadoras), su capacidad de adaptación a condiciones difíciles del sitio (resistencia a sequía o a contaminación, etc.).

El **valor cultural** dependerá de la connotación particular que la cultura del lugar le asigne a la vegetación estudiada (vegetación histórica, conmemorativa, etc.), o el valor científico que por diversos motivos se deba tener especialmente en cuenta (plantas madres o semilleras selectas, ejemplares de especies interesantes introducidas bajo estudio, ejemplares sobrevivientes de antiguos climax destruidos, etc.).

Estos parámetros se analizarán y ubicarán en la siguiente escala de conceptos y puntajes:

Concepto	valor
Naturalidad alta. Valor ecológico alto. Valor cultural o científico alto	5 a 7
Naturalidad modificada. Valor ecológico medio. Valor cultural o científico medio	3 a 5
Naturalidad muy modificada. Valor ecológico bajo. Sin valor cultural o científico especial	1 a 3

El Factor de valor paisajístico ecológico y cultural (F.p.), se encuentra mediante la media aritmética de los valores de funcionalidad (f), calidad visual (c) y naturalidad y valor ecológico y cultural (n):

$$F.p. = (f + c + n) / 3 \quad [\text{adimensional}]$$

### Cálculo del Índice Ambiental Urbanístico

Para cada ejemplar vegetal o grupo de ejemplares en un espacio considerado, puede definirse entonces el **ÍNDICE AMBIENTAL- URBANÍSTICO** (I.A.U.), que está dado por :

$$I.A.U. = (F.u.) \cdot (F.p.) \cdot (I.V.V.A) \quad [m^3/m^2]$$

donde:

I.V.V.A. = Índice Volumétrico de Vegetación Activa [ $m^3/m^2$ ]

F. u. = Factor de Ubicación Urbana [adimensional]

F. p. = Factor de Valor Paisajístico, ecológico y cultural [adimensional].

## APLICACIONES PRÁCTICAS DEL ÍNDICE AMBIENTAL-URBANÍSTICO

El relevamiento de espacios vegetados con el criterio aquí desarrollado, permite la obtención de parámetros cuantificables de uso práctico, esencialmente para establecer valores de comparación entre diferentes lugares que presenten vegetación y poder determinar su importancia relativa. Este conocimiento es esencial para apoyar juicios de valor en la toma de decisiones en casos de proyectos alternativos de desarrollo urbano, turístico e industrial, pues la vegetación y su consecuente creación ambiental micro y meso climática, es un valor agregado del territorio, que debe ser tenido en cuenta

en forma principal entre los recursos naturales del sitio. Su aplicación también es evidente en la problemática de tasación de propiedades urbanas y rurales.

También es posible su uso en el análisis ambiental de un lugar a través del tiempo, con el objeto de conocer su evolución. Esta herramienta puede ser de gran interés para la determinación de la incidencia o impacto ambiental que determinadas actividades producen en los lugares bajo monitoreo, dando oportunidad a la aplicación de medidas correctivas o mitigantes tempranas, al ser la vegetación, cuantificada a través de esta metodología, un excelente indicador de la calidad y variación de muchos parámetros ambientales.

Otra derivación práctica de la valoración volumétrica activa de la vegetación y el índice ambiental-urbanístico, consistirá en su aplicación como base para la determinación del valor monetario de la vegetación, con aplicación en múltiples problemas económicos y jurídicos, como por ejemplo política impositiva, litigios, tasaciones, etc.

Como queda dicho, el principal uso práctico de los índices es el establecimiento de comparaciones cuantitativas entre el valor ambiental de dos situaciones que involucren vegetación, pero también es posible establecer como criterio orientativo, una escala de referencia valorativa del Índice Ambiental-Urbanístico con valores alcanzados por vegetación evaluada en condiciones reales, que permite definir al menos tres rangos, Alto, Medio y Bajo valor ambiental-volumétrico. Dada la índole compleja de los criterios que intervienen, y tratándose de evaluación de elementos dinámicos (en permanente crecimiento), a los que se agregan valoraciones estéticas y ecológicas que pueden también variar en el tiempo, es prácticamente imposible establecer el máximo posible del valor del Índice para cada lugar. Por el contrario, su valor mínimo es el cero. Mediante determinaciones experimentales se ha estimado el valor real que puede alcanzar la vegetación para una zona de características medias dentro de la provincia y a partir de allí definir los valores bajos, medios y altos de referencia, alcanzables en condiciones normales, para especies comunes.

La escala de referencia propuesta está dada por los siguientes valores para ámbitos urbanos y rurales:

Valores de I.A.U.:     **BAJO = 0 a 1**  
                               **MEDIO= 1 a 10**  
                               **ALTO = > 10**

## **CÁLCULO DE NECESIDADES DE VERDE URBANÍSTICO**

A fin de establecer un nuevo criterio para determinación de **estándares de necesidades de verde por habitante en zonas urbanas**, desarrollando y aplicando en la práctica el concepto sugerido por Contardi, H. (5) se determina como unidad de cálculo la cantidad de gas carbónico producido por la respiración diaria de un ser humano promedio, que alcanza a 900 gr y se estimará la cantidad de vegetación necesaria para equilibrar esa emisión, en volumen de vegetación.

El Volumen de Vegetación aludido, se refiere al Volumen nominal o bruto de la vegetación propuesta, incluyendo árboles, arbustos, herbáceas y céspedes a lograr en el período de cálculo, sin la aplicación de los factores necesarios para el cálculo del Volumen de Vegetación Activa, pues lógicamente este último concepto se refiere exclusivamente al valor ambiental-volumétrico de vegetación existente, como ha sido explicado en la sección correspondiente.

Para ello, se correlaciona la capacidad de asimilación fotosintética del CO<sub>2</sub> promedio por unidad de área foliar entre las especies más difundidas en zonas templadas, con el área foliar media por volumen de vegetación, encontrándose la cantidad promedio de asimilación anual de CO<sub>2</sub>, medida en :gramos asimilados de CO<sub>2</sub> / m<sup>3</sup> de Vegetación, por año.

En base a datos de muchos autores publicados por Larcher (10) (p. 38) los valores **promedio entre**



la **fotosíntesis** neta máxima en condiciones naturales de suministro de CO<sub>2</sub> (300 ppm), saturación de luz, temperatura óptima y buen suministro hídrico, y el cero de actividad fotosintética, para los principales tipos de vegetación en zonas templadas, alcanzan a 4,662 mg CO<sub>2</sub> asimilados por decímetro cuadrado y hora.

Convirtiendo ese valor como promedio general de estimación anual de la actividad fotosintética, entre los tipos de vegetación, se tiene un valor de:

$$11,188 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$$

Según mediciones realizadas para fundamentar en forma complementaria este trabajo (Codina, R. y Cavagnaro, J.), dada la ausencia de datos en la bibliografía, el promedio de área foliar estimada por unidad de volumen de vegetación ( $\text{m}^2 \text{ A.F.} / \text{m}^3 \text{ Veg.}$ ), para las especies arbóreas y arbustivas estudiadas, que corresponden a las más difundidas en espacios verdes de la zona de Mendoza, es de unos:

$$8 \text{ m}^2 \text{ A.F. m}^{-3} \text{ Veg.}$$

Relacionando ambos valores se obtiene:

$$89,504 \text{ g CO}_2 \cdot \text{m}^{-3} \text{ Veg. d}^{-1}$$

Finalmente, considerando los  $900 \text{ g CO}_2 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{persona}^{-1}$ , la necesidad de vegetación por habitante resulta:

$$10,05 \text{ m}^3 \text{ Veg. habitante}^{-1}$$

En base a lo cual podemos tomar como estándar de necesidad un volumen de vegetación de **10 m<sup>3</sup> por habitante**.

Este valor debe considerarse como **mínimo de proyecto**, en cálculos de necesidades de verde para asentamientos urbanos.

### Periodo de cálculo

El período en el que se cumplirá la producción de la utilidad ambiental o tiempo de cálculo en el que se considerará el volumen de vegetación para proyectos, será de **10 años**. En otras palabras, el cálculo de los volúmenes proyectados, será el correspondiente al crecimiento esperado a los 10 años de implantada la vegetación, para cada especie en las condiciones del sitio (según condicionantes de suelo, clima, incidencias de la contaminación ambiental y mantenimiento esperable).

El volumen de vegetación calculado, estará en relación a los m<sup>2</sup> por habitante de espacios abiertos que se usan normalmente en cálculos urbanísticos, vale decir que se propone un mínimo de necesidad de verde volumétrico de 10 m<sup>3</sup> que se encuentre en el área del estándar de 20 m<sup>2</sup> por habitante, a los 10 años de construido el emprendimiento. Este estándar está fundado en una relación efectiva del ser humano con la mejora ambiental producida por la vegetación, con base científica. Así se podrá establecer para cada asentamiento urbano, la necesidad en superficie de espacio verde caracterizado por poseer un Volumen de Vegetación determinado.

## CÁLCULO DE ÁREAS AMORTIGUADORAS INDUSTRIALES

Para las zonas de amortiguación de áreas industriales, se propone utilizar el valor de "población equivalente" de la contaminación que produce la actividad industrial, traduciéndose en un área verde calculada en base al criterio anterior de absorción del CO<sub>2</sub> producido por la persona humana, según capacidad promedio de la unidad de volumen vegetal calculado anteriormente ( $10 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1}$ ) a los 10 años de implantado el espacio verde.

En todos los casos se considera que la actividad industrial se encontrará dentro de los límites de emisión de contaminantes que marca la normativa vigente y que la franja de vegetación simplemente contribuirá a lograr una mejora ambiental en las áreas influenciadas por esa industria.

### Cálculo de la Población Equivalente

El valor de "población equivalente" se calculará en base al consumo anual de energía eléctrica de la industria, traducido en población equivalente, según el consumo de energía eléctrica promedio por habitante en la zona de influencia de la industria.

$$P. eq. = C.E.I. / C.E.P.H. \quad [hab^{-1}]$$

donde:

- P. eq. = Población equivalente a esa industria  
 C.E.I. = Consumo eléctrico anual de la industria [MWh . año<sup>-1</sup>]  
 C.E.P.H. = Consumo eléctrico anual por habitante [MWh año<sup>-1</sup> hab<sup>-1</sup>]

### Consumo Medio por Habitante

Según datos estadísticos suministrados por el ENTE PROVINCIAL REGULADOR ELECTRICO, Provincia de Mendoza, Area de Estudios Económicos y Tarifas, ( C A. Poppi, 1999.) el consumo medio para la provincia en los últimos diez años es de 1,89 MWh año<sup>-1</sup> hab<sup>-1</sup>, siendo de 2,11 MWh año<sup>-1</sup> hab<sup>-1</sup> para el año de 1997.

El consumo es de aumento progresivo aunque con incrementos variables, por lo que lo más recomendable es utilizar el valor del último período de estadística conocida en el momento de efectuar el proyecto. Este valor es más consistente que el promedio y tiene una base real para efectuar el cálculo.

### Cálculo de la Zona Verde de Amortiguación

Las franjas de amortiguación verde de la industria considerada, contemplarán un volumen de vegetación a los 10 años de implantado, calculado en base a la necesidad de volumen de vegetación activo por habitante, multiplicado por la población equivalente. Referido a los valores promedios enunciados, la expresión queda del siguiente modo:

$$V.v. = (C.E.I. / 2,11) 10 \quad [m^3]$$

O de otro modo, y abreviando los valores constantes, dentro del período y lugar considerados:

$$V. v. = K . C.E.I. \quad [m^3]$$

donde:

- V.v. = Volumen de vegetación a crear [m<sup>3</sup>]  
 C.E.I. = Consumo Eléctrico Anual de la Industria [MWh/año]  
 K = Constante: 4.7 m<sup>3</sup>.MWh<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>

Como se ve, el valor de K, es válido para el lugar y el año considerado, y variará en función del valor que tome el Consumo eléctrico medio por habitante.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVA

### Valoración de vegetación existente

La medición volumétrica foliar de la vegetación existente para su valoración ambiental, resulta un parámetro de gran utilidad práctica para la ingeniería ambiental toda vez que puede ser medido en condiciones rápidas de campo y permite establecer comparaciones cuantitativas entre áreas, entre grupos vegetales y aún entre ejemplares aislados, proveyendo criterios cuantitativos para la toma de



decisiones.

El volumen de vegetación medido, debe ser corregido según aquellas características de la hoja de cada especie que tienen mayor influencia en la determinación de los efectos ambientales resultantes, mediante los siguientes factores: persistencia o caducidad, textura, densidad del follaje, estado sanitario y longevidad. El Volumen de Vegetación Activa (V.V.A.) puede calcularse entonces según la siguiente ecuación:

$$(ecuación 1) \quad \boxed{V.V.A. = (V.V.) \cdot (F.P.) \cdot (F.T.) \cdot (F.D.) \cdot (F.E.) \cdot (F.E.V.)} \quad [m^3]$$

donde:

- (F.P.) = Factor Persistencia del follaje. [adimensional]
- (F.T.) = Factor Textura del follaje. [adimensional]
- (F.D.) = Factor Densidad del follaje. [adimensional]
- (F.E.) = Factor Estado Fisiológico y Sanitario del ejemplar. [adimensional]
- (F.E.V.) = Factor Esperanza de Vida del ejemplar. [adimensional]

Este volumen de vegetación activa, debe ser referido al espacio físico o área de terreno ocupado por el mismo, a efectos de poder establecer comparaciones entre situaciones diferentes respecto al valor ambiental y uso del suelo en relación a la existencia de vegetación. Para ello, se relaciona el valor de vegetación activa (V.V.A.) con el área ocupada por la vegetación medida o área verde efectiva, encontrándose el valor del Índice Volumétrico de Vegetación Activa (I.V.V.A.):

$$(ecuación 2) \quad \boxed{I.V.V.A. = V.V.A. / \text{sup. verde efectiva}} \quad [m^3/m^2]$$

Esta relación establece el valor ambiental de la vegetación por sus características intrínsecas a la vez que es un indicador del terreno afectado para conseguir ese nivel de mejoramiento ambiental, por lo que es elevadamente útil en casos de necesidad del establecimiento de criterios comparativos entre áreas para la toma de decisiones, en múltiples casos tales como análisis del valor ambiental de áreas, valoraciones de impacto ambiental de proyectos, tasación de propiedades, etc.

Lo ambiental también está integrado por lo paisajístico, por lo que al vegetal, también se lo debe considerar desde este punto de vista. La determinación del valor de la presencia vegetal por su ubicación y sus condiciones paisajísticas, resulta esencial para completar el análisis de una manera integral. Así se propone utilizar el Índice Ambiental – Urbanístico (ecuación 3), que relaciona el valor de ubicación del elemento vegetal y sus aptitudes paisajísticas, mediante la determinación de los factores: de Ubicación urbana, y Paisajístico, ecológico, cultural o científico.

$$(ecuación 3) \quad \boxed{I.A.U. = F.u. \cdot F.p. \cdot I.V.V.A.} \quad [m^3/m^2]$$

donde:

- I.A.U. = Índice Ambiental Urbanístico
- F.u. = Factor de ubicación urbana
- F.p. = Factor paisajístico, ecológico y cultural o científico
- I.V.V.A. = Índice Volumétrico de Vegetación Activa

Se dispone así de una medida cuantitativa para la valoración de vegetación existente, desde el punto



**A-EVANGELISTA S.A.**  
**Servicios Petroleros**



**Certificado ISO 9002**

**LIDERES  
EN MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE  
SUPERFICIE**

**POOL INTERNATIONAL ARGENTINA S.A.**

Una Empresa de Nabors Drilling International



**SIEMPRE AL SERVICIO DE LA  
INDUSTRIA PETROLERA**

*Esim S.R.L es una empresa joven dedicada al mantenimiento, reparación y construcción de elementos constitutivos de máquinas rotantes y alternativas de las más variadas potencias. Orientada a prestar servicios a la industria de procesos continuos.*



*Esim S.R.L aplica en todos los niveles de la organización una adecuada capacitación para la implementación del "Sistema de Aseguramiento de la Calidad", tomando como rectores los requerimientos establecidos por la norma*

**IRAM/ IACC/ ISO 9002/94**

**Esim** S.R.L.



de vista ambiental. Esta medida cuantitativa permitirá la comparación entre situaciones separadas en el tiempo y en el espacio.

### Cálculo de necesidades de verde urbano

Se ha propuesto un estándar de necesidad de verde en base a un volumen de vegetación a crear en el área destinada a espacio verde, a los 10 años de construido el asentamiento, de **10 m<sup>3</sup> habitante<sup>-1</sup>**.

El establecimiento del nuevo estándar de necesidad de verde volumétrico por habitante está basado en la asimilación carbónica, y tiene la ventaja de estar fundamentado en una relación ecológica efectiva entre el hombre y el vegetal que significará una real mejora ambiental de los espacios verdes a establecer para los nuevos asentamientos urbanos.

### Cálculo de vegetación para áreas industriales de amortiguación

Las franjas de amortiguación verde de la industria considerada, contemplarán un volumen de vegetación a los 10 años de implantado, calculado en base a la siguiente relación general:

(ecuación 4)

$$V. v. = K \cdot C.E.I. \quad [m^3]$$

donde:

- V.v. = Volumen de vegetación a crear [m<sup>3</sup>]
- C.E.I. = Consumo Eléctrico Anual de la Industria [MWh/año]
- K = Constante: 4.7 m<sup>3</sup>.MWh<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>

La constante K surge de dividir la necesidad volumétrica de vegetación por habitante, por su consumo eléctrico medio anual.

Este índice volumétrico aplicado al cálculo de áreas industriales y sus zonas de amortiguación, servirán de base para establecer una mejora progresiva de las instalaciones industriales, y a la vez servirá para lograr una mejora efectiva del entorno de cada industria, constituyendo un paso significativo de avance respecto al criterio imperante hasta el momento del establecimiento de áreas libres sin ningún detalle ni especificación acerca de la vegetación a establecer.

## BIBLIOGRAFIA

- 1- ARAMBURU MAQUA, P.1986.-RECUPERACIÓN PAISAJISTICA DE LOS TALUDES DEL APARCAMIENTO DE NAVACERRADA Y ZONAS ANEXAS- En Curso monográfico sobre la restauración del paisaje.Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid. 460 p.
- 2- AYALA CARCEDO, FRANCISCO. 1996 - MANUAL DE RESTAURACION DE TERRENOS Y EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES EN MINERIA- Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 332 p.
- 3- CLAVER FARIAS, IGNACIO (COORDINADOR CEOTMA). 1984- GUIA PARA LA ELABORACION DE ESTUDIOS DEL MEDIO FISICO : CONTENIDO Y METODOLOGIA- Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo. Centro de Estudios del Territorio y Medio Ambiente. Madrid. 572 p.
- 4- CONESA FDEZ VITORA, VICENTE .1993- GUIA METODOLOGICA PARA LA EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL- Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Levante. Ediciones MUNDI PRENSA. Madrid. 276 p.
- 5- CONTARDI, HECTOR G. 1980 ."NUEVA CONCEPCION ECOLOGICA-TECNOLOGICA SOBRE LOS ESPACIOS VERDES URBANOS". Ecología Argentina. n° 5 . Buenos Aires. Pp.105-112.
- 6- EHLERINGER, J. AND MOONEY, H. A. 1981-PRODUCTIVITY OF DESERT AND MEDITERRANEAN-CLIMATE PLANTS- Encyclopedía of Plant Physiology. Vol 12-D.Pp. 205-226.
- 7- ENTE PROVINCIAL REGULADOR ELECTRICO- EPRE. 1999- INFORMACION AL USUARIO DEL SERVICIO PUBLICO ELECTRICO- Provincia de Mendoza .
- 8- GOMEZ OREA, DOMINGO. 1992-EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL- Editorial Agrícola Española. Madrid. 221 p.
- 9- GULDMANN, JEAN MICHEL AND SHEFER, DANIEL. 1980.- INDUSTRIAL LOCATION AND AIR QUALITY CONTROL- John Wiley & Sons. New York. 234 p.
- 10- LARCHER, WALTER . 1977- ECOFISIOLOGIA VEGETAL- Editorial Omega, Barcelona. 297 p.

- 11- LAURIE, MICHAEL. 1983.- INTRODUCCION A LA ARQUITECTURA DEL PAISAJE- Editorial GUSTAVO GILLI. Barcelona. 430 p.
- 12- LEY DE LOTEOS, PROV. DE MENDOZA, N° 4341. 1979. Gobernación de la Provincia de Mendoza.
- 13- LORENZINI, GIACOMO 1998- UN FENOMENO INQUIETANTE. Il Giardino Forato, Año LXIV, n°1/2. Bologna, EDAGRICOLA. p. 16-19.
- 14- LYNCH, KEVIN. 1980- PLANIFICACION DEL SITIO- Editorial GUSTAVO GILLI. Barcelona. 350p.
- 15- MC PHERSON, GREGORY E.; NOWAK, DAVID J.; ROWNTREE, ROWAN A. 1994 - Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project. U.S.Department of Agriculture. Forest Service. Northeastern Forest Experiment Station.General Technical Report NE 186. Chicago.201 p.
- 16- MILLER, TYLER. 1992 – ECOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE , Introducción a la ciencia ambiental, el desarrollo sustentable y la conciencia de conservación del planeta Tierra- Grupo Editoral IBEROAMERICA . México. 874 p.
- 17- MORETTON, JUAN. 1996. CONTAMINACION DEL AIRE EN LA ARGENTINA. Ed. Universo Buenos Aires. 125 p.
- 18- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD.1980. - MANUAL DE CALIDAD DEL AIRE EN EL MEDIO URBANO- Editores Suess, M.J. y Craxford , S.R. Oficina Sanitaria Panamericana, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Washington. D.C., Pp.. 17-151. 230 p.
- 19- PASSERA, CARLOS B. ; DALMASSO, A. D. ; BORSETTO, O 1986. -METODO DE "POINT CUADRAT MODIFICADO"- En: Taller de arbustos forrajeros para zonas áridas y semiáridas Ed. Armawald S.A., Bs. As. p. 71-77.
- 20- PESSON, P . 1978 – ECOLOGIA FORESTAL , El bosque, clima, suelo, árboles, fauna.- Ediciones MUNDI PRENSA. Madrid.389 p.
- 21- PROYECTO DE LEY DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, USO Y DIVISION DEL SUELO PARA LA PROVINCIA DE MENDOZA. Senado y Cámara de Diputados de la Provincia de Mendoza. 1997.(Inédito).
- 22- RODRIGUEZ AVIAL LLARDENT, LUIS . 1982. – ZONAS VERDES Y ESPACIOS LIBRES EN LA CIUDAD- Instituto de Estudios de Administración Local. Madrid. 538 p.
- 23- ROIG, FIDEL ANTONIO.1976 -EL CUADRO FITOSOCIOLOGICO EN EL ESTUDIO DE LA VEGETACION- DESERTA 4- Ed. IADIZA, MENDOZA. p. 45-67.
- 24- SCHNAUM, SERIE COMPENDIOS. 1980.- MANUAL DE FORMULAS Y TABLAS MATEMATICAS- Munny Spiegel. Ed. Mc Graw-Hill México. Pp. 7-10.
- 25- SCHULZE, E.D. 1982 - PLANT LIFE FORMS AND THEIR CARBON, WATER AND NUTRIENT RELATIONS- Encyclopedia of Plant Physiology. Vol. 12-B. 616-667 p.
- 26- SEQANEZ CALVO, MARIANO. 1996- INGENIERIA DEL MEDIO AMBIENTE Aplicada al medio natural continental- Ediciones MUNDI-PRENSA. Madrid.701 p.
- 27- VIGLIZZO, ERNESTO. 1997 - LIBRO VERDE , elementos para una Política Agroambiental en el Cono Sur- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). Montevideo. 204 p.

*Para obtener toda la información actualizada  
sobre las actividades académicas, de  
investigación y servicios que desarrolla la  
Facultad de Ingeniería de la Universidad  
Nacional de Cuyo, visite el sitio Web:*

**<http://fing.uncu.edu.ar>**



# Inserción Internacional de la Facultad de Ingeniería



Desde siempre, la institución vuelca un sostenido esfuerzo en el establecimiento de vínculos efectivos con un número creciente de centros de investigación y organizaciones académicas públicas y

privadas de diversas partes del mundo.

En ese marco merece especial mención el convenio más reciente, implementado con la Ecole Nationale D'Ingenieurs de Saint-Etienne (Francia). En virtud de este acuerdo de intercambio, alumnos franceses viajan a Mendoza y conforman binomios junto a jóvenes argentinos, con quienes cursan el cuarto año de la carrera, incluyendo una pasantía en empresas del medio. Aprobado el ciclo estos binomios se trasladan a Francia y allí cursan el quinto año, concluyendo con un trabajo final desarrollado esta vez en empresas de aquella zona. Cumplidas todas las exigencias, los alumnos obtienen ambos títulos, de Ingeniero francés y su homólogo argentino. Anualmente, en ocasión de la entrega de diplomas, autoridades de ambas instituciones se hacen presentes en las respectivas casas de estudio y participan de las ceremonias de colación de grado.



# OFERTA DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNCUYO

- ✓ **MAESTRÍA EN LOGÍSTICA** (Colaboran: Ecole Superieure Internationale de Logistique, Centre D'enseignement et de Recherche en Logistique, Ecole Nationale d'Ingenieurs de Metz, Université de Metz, Universidad de Santiago - Chile y Universidad Politécnica de Valencia - España).  
e-mail: doctorado.  
e-mail: logistk@raiz.uncu.edu.ar - web: www.uncu.edu.ar/master\_log
- ✓ **ESPECIALISTA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL** (Auspicia: UNESCO y P.H.I., colabora Universidad Federico Santa María, Valparaíso - Chile).  
e-mail: ingamb@raiz.uncu.edu.ar - web: www.uncu.edu.ar/master\_mia
- ✓ **MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN EN FABRICACIÓN - CONTROL DE PROCESOS, ROBÓTICA** (Colabora: Universidad Politécnica de Madrid, España; EUIT de Telecomunicación).  
e-mail: master.tif@raiz.uncu.edu.ar - web: www.uncu.edu.ar/master\_tif
- ✓ **MASTER IN INTERNATIONAL BUSSINESS** (en conjunto con la Facultad de Ciencias Económicas de la UNCuyo y de la Ecole Française de Ponts et Chaussées de Francia).
- ✓ **MASTER EN PETROLEUM ENGINEERING** (a distancia con la Universidad Herriot Watt de Edimburgo, UK).  
e-mail: amontes@raiz.uncu.edu.ar - web: www.uncu.edu.ar/master\_mip
- ✓ **DOCTORADO EN INGENIERÍA** (Colaboran: Universidades Nacionales de San Luis, San Juan, Córdoba y La Plata; Universidad Politécnica de Madrid y Universidad Politécnica de Cataluña, España; Universidad de Maryland, USA; Universidad Católica de Chile; UFZ de Leipzig, Alemania y Universidad Central de Venezuela).  
e-mail: doctorado.ingenieria@cediac.uncu.edu.ar - http: //cediac.uncu.edu.ar/doctorado.htm  
web: www.cediac.uncu.edu.ar/doctorado.htm
- ✓ **MAESTRÍA EN CALIDAD Y GESTIÓN DE EMPRESAS** con Profesores de Pontificia Universidad Católica de Chile.  
e-mail: fing@raiz.uncu.edu.ar - web: www.uncu.edu.ar/master\_cge
- ✓ **MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL** acreditada ante CONEAU.  
e-mail: fing@raiz.uncu.edu.ar - web: www.uncu.edu.ar/master\_gam

I.S.S.N. 0326-1220

Impreso en Mendoza, República Argentina

Se terminó de imprimir el 15 de octubre de 2002 en

**INCA EDITORIAL Cooperativa de Trabajo Ltda.**

Ituzaingó 3073 - 5500 Mendoza - Telefax 54-261 4305595-4307405 - E.mail: incagraf@slatinos.com.ar



