



# ReTyCA

Revista de Tecnología y Ciencias Aplicadas

Volumen 8, No. 1

ISSN: 2524-9487

Junio de 2025

**METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE VIDA EN EL ESPACIO SEMIPÚBLICO DE LOS CONJUNTOS RESIDENCIALES EN LA MEDIA DENSIDAD DE LA CIUDAD DE CÓRDOBA**  
Manuel Alazraki

**MODELO INTEGRAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ACCESIBILIDAD AL CONTENIDO WEB**  
Cecilia E. Gallardo

**IMPACTO DE LA POLÍTICA DE VIVIENDA EN CIUDADES INTERMEDIAS. CASO CIUDAD DE SAN FERNANDO DEL VALLE DE CATAMARCA**  
Myriam Gomez Astudillo

**PROCESOS GEOQUÍMICOS QUE CONTROLAN LA DINÁMICA DEL ARSÉNICO EN PASIVOS AMBIENTALES MINEROS**  
Nancy Eugenia Nieva



# RETyCA

Vol. 8 - Número 1

JUNIO de 2025

---

ISSN 2524 -9487

## FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Universidad Nacional de Catamarca

### **EDITOR**

*DIRECTOR*

*Mgtr. María Alejandra Barrera*

*CODIRECTOR*

*Dra. Ivanna Maricruz Lazarte*

### **COMITÉ EDITOR**

*Dra. Erlinda del V. Ortiz*

*Mgtr. Carlos Gabriel Rosa Herrera*

*Dr. Fernando Torres*

*Dr. Cristian Ignacio Bevacqua*

*Mgtr. Marcos Darío Aranda*

*Mgtr. Ángel Omar Paris*

*Dra. Nancy Eugenia Nieva*

### **ASISTENTES DE EDICIÓN**

*Mgtr. María Alejandra Barrera*

*Dra. Ivanna Maricruz Lazarte*

### **COMITÉ ASESOR EN CONOCIMIENTO ABIERTO**

*Mgtr. Maria Vanesa Doria*

*Mgtr. Carola Victoria Flores*

**RETyCA**  
**(Revista de Tecnología y Ciencias Aplicadas)**

**FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA**

**Vol. 8 - Número 1**

**Junio de 2025**

ISSN 2524 -9487

©Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, Maximio Victoria  
55 (4700) San Fernando del Valle de Catamarca - República Argentina.

Tapa: Juan José Salas (E.C.U.)

Diseño Interior: Guillermo Blanco

Impreso en Argentina - Printed in Argentina

Queda hecho el depósito que marca la ley N° 11.723

Av. Belgrano 300 - Edif. Pab. 1 Variante I - Planta Alta - Predio Universitario

C.P. 4700 - San Fernando del Valle de Catamarca - Provincia de Catamarca

República Argentina

## ÍNDICE

**METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE VIDA EN EL ESPACIO SEMIPÚBLICO DE LOS CONJUNTOS RESIDENCIALES EN LA MEDIA DENSIDAD DE LA CIUDAD DE CÓRDOBA**

*Manuel Alazraki*

Página 7

**MODELO INTEGRAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ACCESIBILIDAD AL CONTENIDO WEB**

*Cecilia Elizabeth Gallardo, Ana Funes, Hernán César Ahumada*

Página 21

**IMPACTO DE LA POLÍTICA DE VIVIENDA EN CIUDADES INTERMEDIAS. CASO CIUDAD DE SAN FERNANDO DEL VALLE DE CATAMARCA**

*Myriam Gomez Astudillo*

Página 33

**PROCESOS GEOQUÍMICOS QUE CONTROLAN LA DINÁMICA DEL ARSÉNICO EN PASIVOS AMBIENTALES MINEROS**

*Nancy Eugenia Nieva*

Página 45

## ÍNDICE

**METHODOLOGY FOR MEASURING QUALITY OF LIFE IN SEMI-PUBLIC SPACES OF  
MEDIUM-DENSITY RESIDENTIAL COMPLEXES IN THE CITY OF CÓRDOBA**

*Manuel Alazraki*

Page 7

**COMPREHENSIVE MODEL FOR EVALUATING THE QUALITY OF WEB CONTENT  
ACCESSIBILITY**

*Cecilia Elizabeth Gallardo, Ana Funes, Hernán César Ahumada*

Page 21

**IMPACT OF HOUSING POLICY IN MEDIUM-SIZED CITIES. CASE STUDY OF SAN  
FERNANDO DEL VALLE DE CATAMARCA**

*Myriam Gomez Astudillo*

Page 33

**GEOCHEMICAL PROCESSES THAT CONTROL THE DYNAMICS OF ARSENIC IN MINING  
ENVIRONMENTAL LIABILITIES**

*Nancy Eugenia Nieva*

Page 45

**PRÓLOGO**  
**VOLUMEN 8 – N° 1 – AÑO 2025**  
**EDICIÓN ESPECIAL DE “RESÚMENES DE TESIS DE POSGRADO**  
**ÁREA: CIENCIA Y TECNOLOGÍA”**

Nos complace presentar este número especial de la Revista de Tecnología y Ciencias Aplicadas (RETyCA), una edición que abre sus páginas a la producción académica y científica desarrollada por los docentes investigadores de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, quienes aquí comparten los aspectos más relevantes de sus tesis de posgrado.

Esta edición reúne trabajos seleccionados bajo la convocatoria: Edición Especial de “Resúmenes de Tesis de Posgrado: área Ciencia y Tecnología”, que destaca investigaciones en los campos de ingeniería, arquitectura, ciencias aplicadas y tecnología.

Este número no solo refleja el compromiso de nuestra Facultad con el avance del conocimiento, sino que también representa el primer paso de una nueva gestión editorial en RETyCA, decidida a fortalecer la visibilidad y el impacto de la producción científica local. Como primera acción, hemos querido dar protagonismo a los trabajos desarrollados por nuestros docentes investigadores en el marco de sus posgrados, convencidos de que la formación avanzada es clave para el crecimiento personal, académico e institucional. Apostar a la formación de posgrado es, en definitiva, apostar a una Facultad más sólida, innovadora y conectada con los desafíos actuales.

Extendemos nuestro agradecimiento a las autoridades responsables de la conducción de la Facultad por la confianza depositada en este nuevo Comité Editorial, así como a los autores que respondieron con entusiasmo a esta convocatoria, a los evaluadores que brindaron su tiempo y experiencia, y al equipo editorial que trabajó con compromiso para hacer posible esta edición.

Invitamos a los lectores a recorrer estas páginas, confiando en que los trabajos aquí reunidos serán de interés tanto para investigadores, docentes y estudiantes, como para el público general interesado en conocer los avances y desafíos actuales en ciencia y tecnología.

**Mgter. María Alejandra Barrera**  
Dir. Comité Editorial  
RETyCA  
Fac. de Tecnología y C. A.  
Universidad Nacional de Catamarca



# METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE VIDA EN EL ESPACIO SEMIPÚBLICO DE LOS CONJUNTOS RESIDENCIALES EN LA MEDIA DENSIDAD DE LA CIUDAD DE CÓRDOBA

*Manuel Alazraki*

1: Maestría En Gestión y Desarrollo Habitacional – Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de Córdoba

## METHODOLOGY FOR MEASURING QUALITY OF LIFE IN SEMI-PUBLIC SPACES OF MEDIUM-DENSITY RESIDENTIAL COMPLEXES IN THE CITY OF CÓRDOBA

**RESUMEN:** Bajo la premisa de crecimiento urbano mediante densificación, que busca optimizar infraestructuras y servicios existentes frente a la expansión ilimitada, la media densidad habitacional emerge como una alternativa para proporcionar una calidad de vida aceptable. Los conjuntos habitacionales ofrecen una característica única: un espacio que intermedia entre lo privado y la ciudad. Este espacio semipúblico o colectivo es el foco de esta investigación, considerándolo el elemento distintivo de esta tipología arquitectónica. Estos espacios potencian la integración social, facilitando la comunicación entre los habitantes y fomentando representaciones cohesionadas que crean una identidad colectiva. La dimensión humana otorgada al uso del espacio, que asume un significado social, es crucial. Así, los espacios exteriores pueden entenderse como áreas comunitarias de convivencia e interacción social. La investigación examina cómo la integración social, las representaciones colectivas, el control social del espacio y la formación de grupos emergen y se cuantifican en estas tipologías. Se analizan configuraciones arquitectónicas de los espacios semipúblicos en busca de rasgos distintivos que influyan en el modo de habitar y la cohesión comunitaria.

**Palabras Claves:** Vivienda, Calidad de Vida, Espacios Colectivos, Densificación.

**ABSTRACT:** Under the premise of urban growth through densification, which seeks to optimise existing infrastructure and services rather than unlimited expansion, medium-density housing emerges as an alternative to provide an acceptable quality of life. Housing complexes offer a unique feature: a space that mediates between the private and the city.

This semi-public or collective space is the focus of this research, considering it the distinctive element of this architectural typology. These spaces enhance social integration, facilitating communication among residents and fostering cohesive representations that create a collective identity. The human dimension granted to the use of space, which assumes a social significance, is crucial. Thus, exterior spaces can be understood as community areas for coexistence and social interaction. The research examines how social integration, collective representations, social control of space, and group formation emerge and are quantified in these typologies. It analyses the architectural configurations of semi-public spaces to identify distinctive features that influence modes of living and community cohesion.

**KEYWORDS:** Housing, Quality of Life, Collective Spaces, Densification.

## 1 INTRODUCCIÓN

Este texto relata de manera resumida, haciendo eje en los aspectos metodológicos, la investigación llevada a cabo en la tesis de postgrado que lleva el mismo nombre del artículo, desarrollada en el marco de la Maestría en Gestión y Desarrollo Habitacional de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Córdoba, presentada a defensa durante el año 2012 [1].

### *1.1 El espacio semipúblico en los conjuntos habitacionales de media densidad*

El crecimiento urbano mediante la densificación busca optimizar el uso de infraestructuras y servicios existentes, presentando una alternativa viable a la expansión ilimitada de los límites urbanos. La saturación de la media densidad habitacional emerge como una solución prometedora para proporcionar a los habitantes

de la ciudad una calidad de vida aceptable. Desde el urbanismo, encontramos definiciones interesantes de calidad de vida que se centran en las necesidades de los habitantes. La calidad de vida, como objetivo primordial de los procesos de planificación, está asociada a la satisfacción de necesidades relacionadas con la existencia y el bienestar de las comunidades, la preservación de la cultura de la sociedad en que se insertan y las condiciones ambientales, así como las formas de organización interna de una sociedad para satisfacer sus requerimientos. María Teresa Delgado de Bravo [2] define la calidad de vida como “el grado de bienestar de las comunidades y de la sociedad, determinado por la satisfacción de sus necesidades fundamentales, entendidas estas como los requerimientos de los grupos humanos y de los individuos para asegurarse su existencia, permanencia y trascendencia en un espacio dado y en un momento histórico determinado”.

Dentro de esta lógica de crecimiento urbano, la tipología edilicia de los conjuntos habitacionales presenta una característica única dentro de la oferta actual de vida colectiva: la existencia de un espacio que intermedia entre lo privado de las viviendas (configurado generalmente por departamentos o, en algunos casos, casas-departamento) y la ciudad. Este espacio semipúblico o colectivo es el tema específico de esta investigación y puede considerarse como el elemento convocante, distintivo y específico de esta tipología arquitectónica. La existencia de estos espacios potencia la integración social, posibilitando comunicaciones entre los habitantes del conjunto que sustentan representaciones socialmente cohesionadas y constituyen una identidad colectiva.

Vicente Guzmán [3] define el espacio exterior como “toda área construida en forma tridimensional, transitable pública o privadamente, que delimita cualquier tipo de espacio construido interior y a su vez es encuadrado por éste, y, en donde, un destinatario y una destinataria ya sea en lo individual o en forma colectiva pueden efectuar actividades diversas de las cuales las más significativas son las de comunicar, intercambiar, agrupar y estar”. Nos interesa aquí la dimensión humana que el uso le otorga al espacio, que además de tener una forma material, asume un significado social. Así, los espacios exteriores pueden ser entendidos

como espacios comunitarios de convivencia e interacción social.

Sepúlveda Mellado y Sepúlveda Swatson [4], en su estudio sobre la calidad de vida en conjuntos habitacionales de la periferia de Santiago de Chile, denominado “Espacio residencial urbano e integración social: una propuesta de medición”, enfocan teóricamente el problema, entendiendo que características como la integración social, las representaciones colectivas, el control social del espacio, la conformación de grupos que genera la configuración espacial del conjunto y la identidad son emergentes cuantificables en estas tipologías arquitectónicas. Aunque el estudio fue aplicado a vivienda básica de media altura, compartiendo su enfoque, esta investigación buscará indagar las configuraciones arquitectónicas de los espacios semipúblicos en busca de rasgos distintivos que puedan afectar el modo de habitar.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Interrogantes

El enfoque sistémico, entendido como un método holístico que evalúa las relaciones entre los componentes del sistema, superando las cuantificaciones individuales, es el camino metodológico elegido para alcanzar este objetivo. Se busca proponer una grilla que pueda ser utilizada tanto en la medición de complejos existentes como en el diseño de nuevas propuestas, enfocadas en la mejora de la calidad de vida, entonces la pregunta central de esta investigación plantea: ¿Será posible establecer una metodología cuantitativa de medición de la calidad de vida en los espacios semipúblicos de los conjuntos habitacionales de media densidad?, a esta se añaden además dos interrogantes específicos: ¿Podrá aplicarse una única metodología de análisis para conjuntos habitacionales de diferente cantidad de unidades? y, además: ¿Podrá aplicarse una única metodología de análisis para conjuntos habitacionales de gestión privada o de gestión estatal?

### 2.2 Hipótesis

“La elaboración de una matriz de evaluación para las propuestas de los espacios colectivos de los conjuntos habitacionales permitirá evaluar los ejemplos existentes y mejorar las propuestas

<b>Complejo Carlos Tejedor</b> 42 viviendas Bº San Vicente	<b>La Huertilla</b> 48 viviendas Bº Jardín	<b>Complejo Belgrano</b> 59 viviendas Bº Alto Alberdi	<b>Terrazas de la Cañada</b> 100 viviendas Bº Bella Vista	<b>Altas de Córdoba</b> 116 departamentos Bº Alta Córdoba	<b>Complejo América</b> 144 viviendas Bº Alta Córdoba	<b>Edificio Miracielos</b> 160 departamentos Bº Pueyrredon	<b>Casonas del Sur</b> 215 viviendas Bº Jardín	<b>Casonas del Norte</b> 220 viviendas Bº Las Rosas	<b>IPV Jardines del Sur</b> 228 viviendas Bº Jardines del Sur	<b>Milénica Universitaria</b> 500 viviendas Bº San Vicente	<b>Parque Milénica I y II</b> 551 departamentos Bº Alto Verde	<b>Villa Sol</b> 816 departamentos Bº Las Palmas

### 2.5 Medición de la calidad de vida en los espacios de uso colectivo

Entre los siete ejemplos seleccionados para el análisis, se observa una variedad tipológica que, aunque se agrupa bajo la definición general de “conjunto habitacional” por la presencia de espacios de integración social para sus habitantes, presenta marcadas diferencias. Existen conjuntos de gestión privada y pública, y una gradiente de tamaño que va desde complejos muy pequeños de unas cuarenta y dos viviendas hasta grandes desarrollos de más de ochocientas viviendas.

Las diferencias también se manifiestan en la densidad edilicia. Todos los ejemplos respetan un factor de ocupación de suelo entre 1.5 y 2 veces la superficie del lote, pero varían ampliamente en sus propuestas de ocupación. Hay complejos organizados en dos o tres niveles, casi como viviendas unifamiliares agrupadas que comparten espacios comunes, grandes desarrollos de bloques en parcelas de hasta una manzana completa, donde los espacios entre ellos se configuran como áreas semipúblicas, y complejos en torres de más de diez niveles, donde los espacios comunes no se relacionan directamente con las viviendas.

El problema específico de esta investigación es verificar si es posible aplicar una única metodología de análisis de los espacios colectivos para medir los aportes de los proyectistas a la calidad de vida de los habitantes, y generar un instrumento aplicable también a nuevas propuestas proyectuales.

La construcción de esta herramienta se basa en la concepción teórica propuesta por Manfred Max-Neef en “Desarrollo a escala humana” [7]. Con un enfoque sistémico, propone una taxonomía de necesidades humanas fundamentales. La propuesta es definir un conjunto de indicadores, agrupados en metaindicadores, que midan la respuesta arquitectónica a esas necesidades, utilizando la documentación gráfica de los proyectos aportada por los estudios responsables. Los indicadores cuantifican aspectos cualitativos de los conjuntos, valorando las propuestas por eficacia en una escala que incluye: insuficiente, regular, bueno, muy bueno y excelente, representados gráficamente mediante cuadros de color según la evaluación del indicador.

### 2.6 Las necesidades humanas fundamentales y los indicadores para medir la manera en que los ejemplos las satisfacen

Max-Neef [7] aborda los satisfactores de las necesidades humanas como elementos cambiantes según las diferentes culturas y etapas de evolución de una sociedad. En el prólogo de dicho libro, Joan Martínez Alier sintetiza este enfoque teórico, destacando que “las necesidades humanas no son infinitas e inescrutables. Por el contrario, son finitas y las conocemos bien. Eso no supone un reduccionismo biológico o etiológico... Las necesidades humanas lo son de todos los humanos, de los Mapuche y de los Neoyorquinos; son finitas e identificables, pero los ‘satisfactores’ pueden ser muchos y variados. Los mejores son los sinérgicos, es decir, los que satisfacen varias necesidades a la vez”. Esta perspectiva abre la puerta a la aplicación de la propuesta teórica de Max-Neef en diversos campos de estudio.

En esta investigación, la idea de satisfactores se reemplaza por la de indicadores, ya que el estudio busca medir cómo los proyectistas, desde el diseño, responden a las necesidades de los futuros habitantes del conjunto. Este estudio no pretende medir el grado de satisfacción de los habitantes, lo que requeriría encuestas u otras herramientas cualitativas. El objetivo es, más bien, evaluar el proyecto de manera cuantitativa, analizando sistémicamente las características cualitativas que generan las decisiones de diseño.

Los cincuenta y ocho indicadores propuestos se definieron considerando el universo de los ejemplos mapeados en la tesina, la manera en que responden mediante propuestas programáticas, espaciales y morfológicas a las necesidades humanas, el momento histórico en que fueron proyectados y los entornos que los rodean. Estos indicadores se concibieron con un enfoque generalizador y abarcativo de la mayor cantidad posible de situaciones, bajo la premisa de que deben ser elementos que contribuyan a la definición de la calidad de vida del conjunto.

Además, se definieron metaindicadores para agrupar propuestas que abordan una misma problemática, facilitando la lectura analítica y permitiendo comparaciones entre distintas escalas

SUBSISTENCIA	ÁMBITOS QUE POSIBILITEN LA SOCIALIZACIÓN	Adaptabilidad a diferentes grupos etarios Gradiente de espacios intermedios	PARTICIPACIÓN	LUGARES QUE PODRIAN UTILIZARSE PARA ACTIVIDADES PARTICIPATIVAS	Propuesta de usos participativos de los espacios en el diseño Posible utilización de los espacios comunes para manifestaciones artísticas Configuración circulatorias comunes que promueva la solidaridad entre vecinos	
	SUSTENTABILIDAD	Bajo nivel de mantenimiento de las terminaciones Uso de vegetación como protección climática Uso de especies autóctonas		OCIO	LUGARES PARA LA RECREACIÓN Y JUEGO	Oferta de usos recreativos Adaptabilidad a diferentes grupos etarios Originalidad de la propuesta de usos recreativos
	ELEMENTOS PARA MEJORAR LA SALUD	Porcentaje de verde por habitante Oferta de actividades deportivas Compatibilidad de usos semipúblicos y privados (privacidad de las viviendas) Ubicación de los vehículos que aminore la contaminación Barreras a la contaminación urbana Higiene ambiental			LUGARES PARA LA RELAJACIÓN	Oferta de usos para el relax Adaptabilidad a diferentes grupos etarios
		PROTECCIÓN		SEGURIDAD POR CONFIGURACIÓN DE LOS ELEMENTOS MATERIALES	Nivel de occlusión de los espacios comunes Nivel de consolidación arquitectónica del perímetro Iluminación (eficiencia) Protección y cercos para actividades deportivas Inexistencia de barreras arquitectónicas	CONFIGURACIÓN DEL ENCLAVE
SEGURIDAD POR CONTROL SOCIAL			Control visual del espacio común Unidad espacial (menor fragmentación posible)	CREACIÓN	LUGARES QUE POSIBILITEN EL DESARROLLO DE ACTIVIDADES CULTURALES	Adaptabilidad de los espacios comunes para actividades culturales Adaptabilidad de los espacios exteriores para actividades culturales
AFECTO	ESPACIOS PARA LA SOCIABILIDAD Y EL ENCUENTRO	Cantidad de espacios para socialización Porcentaje de espacio común por habitante Dimensiones de los espacios de socialización en relación a la cantidad de habitantes Plurifuncionalidad de los espacios de socialización Configuración espacial de los espacios posibilitan el encuentro	IDENTIDAD	INTERES POR LA IDENTIFICACIÓN DE LOS USUARIOS CON EL CONJUNTO	Propuesta de actividades que generen identidad en los habitantes Propuesta morfológica que individualice al conjunto y le de identidad Definición de los límites del conjunto	
		RELACIONES CON ANIMALES Y PLANTAS		Distancia entre el espacio verde y la unidad Mantenimiento de los espacios verdes Posibilidad de tenencias de mascotas	LIBERTAD	ROL DE LOS ESPACIOS COMUNES EN LA AUTONOMÍA DE LAS VIVIENDAS
	APORTES A LA PRIVACIDAD DE LAS UNIDADES	Distancias entre usos privados y comunes Configuración del verde que promueva la privacidad Conformación espacial que promueva la privacidad	ROL DE LOS ESPACIOS COMUNES EN LA AUTONOMÍA DE LOS INDIVIDUOS	Porcentaje de espacio común por habitante Cantidad de usos similares simultáneos del espacio común Cantidad de usos diferentes simultáneos del espacio común		
	ENTENDIMIENTO	ÁMBITOS DE FORMACIÓN FORMAL	Espacios para guarderías o jardines maternas	TRANSCENDENCIA	PROPUESTA MORFOLÓGICA ESPACIAL	Propuesta morfológica del conjunto en relación a las tendencias del momento Propuesta espacial de los espacios comunes, en relación a las tendencias del momento Desarrollo de la propuesta paisajística de espacio intermedio
ÁMBITOS DE FORMACIÓN INFORMAL		Espacios que posibiliten el aprendizaje deportivo Espacio que posibiliten cultivos comunitarios Espacios que posibiliten actividades culturales				

**Figura 3.** La tabla muestra los 58 indicadores (elaborados para el análisis de los 7 conjuntos habitacionales seleccionados) agrupados en 19 metaindicadores que a su vez dan respuesta a las 10 necesidades fundamentales definidas por Max Neef

o entre proyectos públicos y privados. El resultado es la tabla de análisis de la figura 3:

### 2.7 Instrumentos de medición

Los análisis presentados en este estudio son posibles gracias al aporte de las piezas gráficas que se solicitaron a los estudios responsables de los proyectos de gestión privada, y a los aportados por la Dirección Provincial de la Vivienda de Córdoba en el caso de aquellos de gestión estatal, en base a este material se prepararon un conjunto de piezas gráficas que permiten la comprensión clara y completa de los proyectos presentados; y en la medida de lo posible se trató de ofrecer:

- Aerofotogrametrías. En diferentes escalas, que fueron preparadas para la tesina, estas se obtuvieron con Google Earth (en su versión gratuita)
- Planimetría de llenos y vacíos del conjunto. Muestran la relación de usos del suelo. (Esta pieza no tiene en cuenta si estos espacios se dedican por completo a actividades colectivas, o si por el contrario parte de ellos son utilizados en forma individual por las viviendas de planta baja).
- Planta Baja del conjunto y Plantas

características. Explican la configuración geométrica de los espacios colectivos cubiertos y descubiertos, las maneras de acceder al complejo y a las unidades, la propuesta paisajística, la oferta de actividades cubiertas y descubiertas, como así también los elementos atípicos que pudieran aparecer.

- Fachadas y cortes. Se utilizan para una comprensión detallada de las proporciones espaciales de los espacios comunes y las relaciones visuales de los bloques o torres de las propuestas.
- Fotografías. Muchas de estas ya habían sido tomadas para un trabajo de investigación y recopilación desarrollado anteriormente con los ya citados Arquitectos: Genaro y Rubiolo Galindez, se sumó adicionalmente un conjunto complementario de imágenes tomadas por el autor al momento de escribir este trabajo y también algunas proporcionadas por los autores en sus páginas web.
- Piezas gráficas adicionales proporcionadas por los proyectistas. Perspectivas, imágenes digitales y otros que, en contraste a las fotografías, permiten establecer una

comparación entre las ideas iniciales de los proyectistas y la manera en que el conjunto evolucionó en el tiempo.

- Tabla de medición de indicadores de calidad de vida. La tabla general de cincuenta y ocho indicadores se desglosó en diez tablas que miden las propuestas para cada una de las necesidades existenciales, para evaluar el desempeño se utilizó la escala de calificación: regular, bueno, muy bueno y excelente, lo que gráficamente se refleja en una gradiente individual de cuatro etapas que posteriormente se promedia en forma general por necesidad. Esta metodología genera diez páginas de análisis por conjunto.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La investigación planteada en la tesis se definió a través del análisis de siete conjuntos habitacionales que se definieron por ponderación, según lo reflejan las tablas 1 y 2, a saber:

La Huertilla: 46 viviendas de gestión privada construidas en 1995 en barrio Villa Revol.

Complejo Belgrano: 59 viviendas de gestión pública construidas en 2003 en barrio Alberdi.

Altas de Córdoba: 116 viviendas de gestión privada construidas en 2008 en barrio Alta Córdoba.

Terrazas de la Cañada: 100 viviendas de gestión pública construidas en 2005 en barrio Güemes.

Casonas del Sur: 215 viviendas de gestión privada construidas en 2005 en barrio Jardín.

IPV Jardines del Sur: 228 viviendas de gestión pública construidas entre 1994 y 1998 en barrio Jardines del sud.

Villasol: 816 viviendas de gestión privada construidas en 2007 en barrio Teodoro Fels.

A los fines de demostrar el proceso de aplicación de la metodología, se incluye en este artículo las fichas de análisis de uno de los conjuntos emblemáticos construido por gestión privada de principios de SXXI, (figuras 4 al 14) que fue analizado en el proceso de investigación: “Villasol”, que pertenece a la escala 4 de la tabla presentada en la Figura N°2.

Los planos incluidos en las fichas fueron aportados por la empresa desarrollista, las imágenes satelitales extraídas de Google Earth, todas las



Figura 4. Presentación ficha de análisis conjunto habitacional “Villasol”



Figura 5. Ficha de análisis N°1

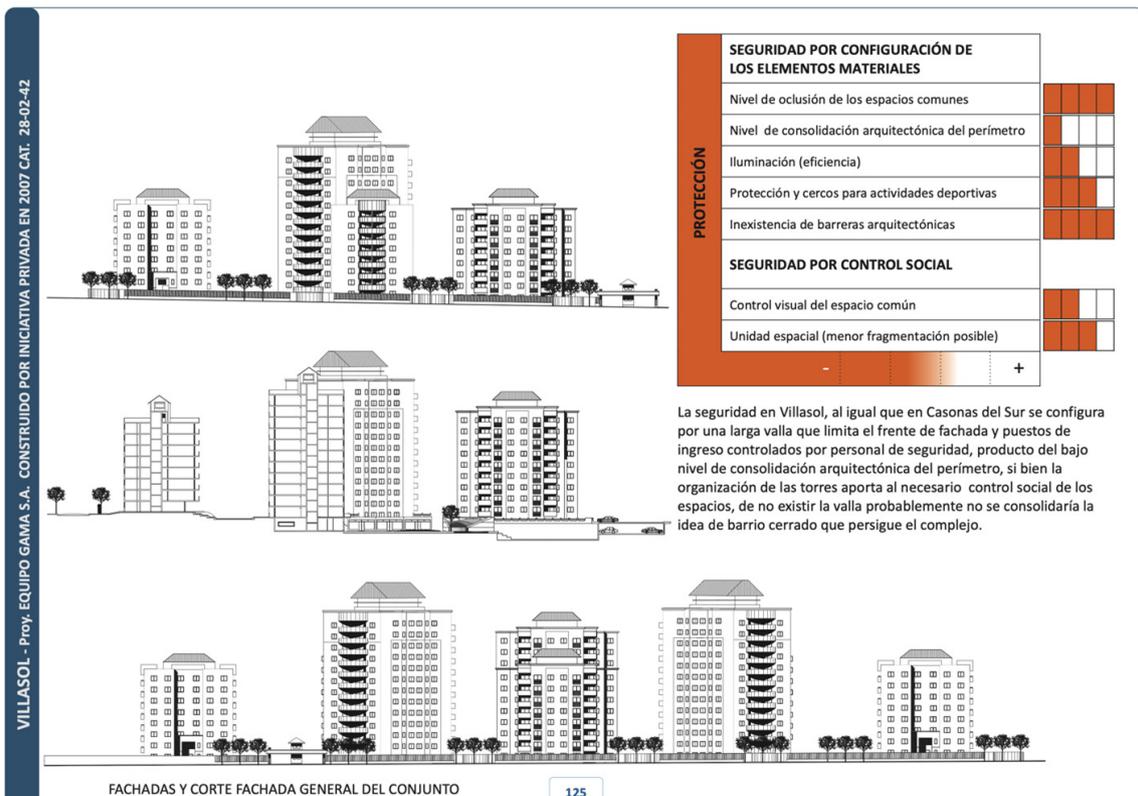


Figura 6. Ficha de análisis N°2



VILLASOL - Proy. EQUIPO GAMA S.A. - CONSTRUIDO POR INICIATIVA PRIVADA EN 2007 CAT. 28-02-42

La envergadura del complejo, estadísticamente debería garantizar un uso altamente participativo de los espacios, sin embargo la propuesta de torre aislada adolece de la compartimentación propia de los planteos de alta densidad, los pequeños patios de las torres no son espacios propicios para el encuentro, como tampoco lo son los senderos que serpentean entre las torres, porque son muy pocos los que convergen a espacios de mayores dimensiones preparados para la permanencia.

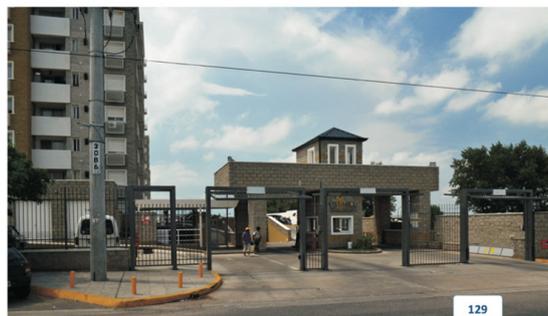
PARTICIPACION	LUGARES QUE PODRIAN UTILIZARSE PARA ACTIVIDADES PARTICIPATIVAS	
	Propuesta de usos participativos de los espacios en el diseño	+
	Posible utilización de los espacios comunes para manifestaciones artísticas	+
	Configuración circulations comunes que promueva la solidaridad entre vecinos	+



128

Figura 9. Ficha de análisis N°5

VILLASOL - Proy. EQUIPO GAMA S.A. - CONSTRUIDO POR INICIATIVA PRIVADA EN 2007 CAT. 28-02-42



OCIO	LUGARES PARA LA RECREACION Y JUEGO	
	Oferta de usos recreativos	+
	Adaptabilidad a diferentes grupos etarios	+
	Originalidad de la propuesta de usos recreativos	+
	LUGARES PARA LA RELAJACION	
	Oferta de usos para el relax	+
	Adaptabilidad a diferentes grupos etarios	+
	CONFIGURACION DEL ENCLAVE	
	Elementos paisajisticos que contribuyen al relax	+
Nivel de occlusion del conjunto	+	
Diseño de gradientes de espacios intermedios que promuevan la relajación y el aislamiento	+	

La configuración del enclave, tiene dos situaciones bien diferenciadas, por un lado la pileta y la plaza, franqueada por los locales y el primer abanico de torres, realmente es un espacio controlado donde se proponen variadas actividades para el ocio y el relax que seguramente son aprovechadas por muchos de los habitantes. Por otro lado, la fricción entre el segundo abanico de torres y la valla de fachada sobre calle Barcena, donde el espacio semipúblico se revela completamente residual a la geométrica del plan de masas y la propuesta paisajística con arbustos pequeños no alcanza a configurar "lugares"

129

Figura 10. Ficha de análisis N°6



Figura 11. Ficha de análisis N°7

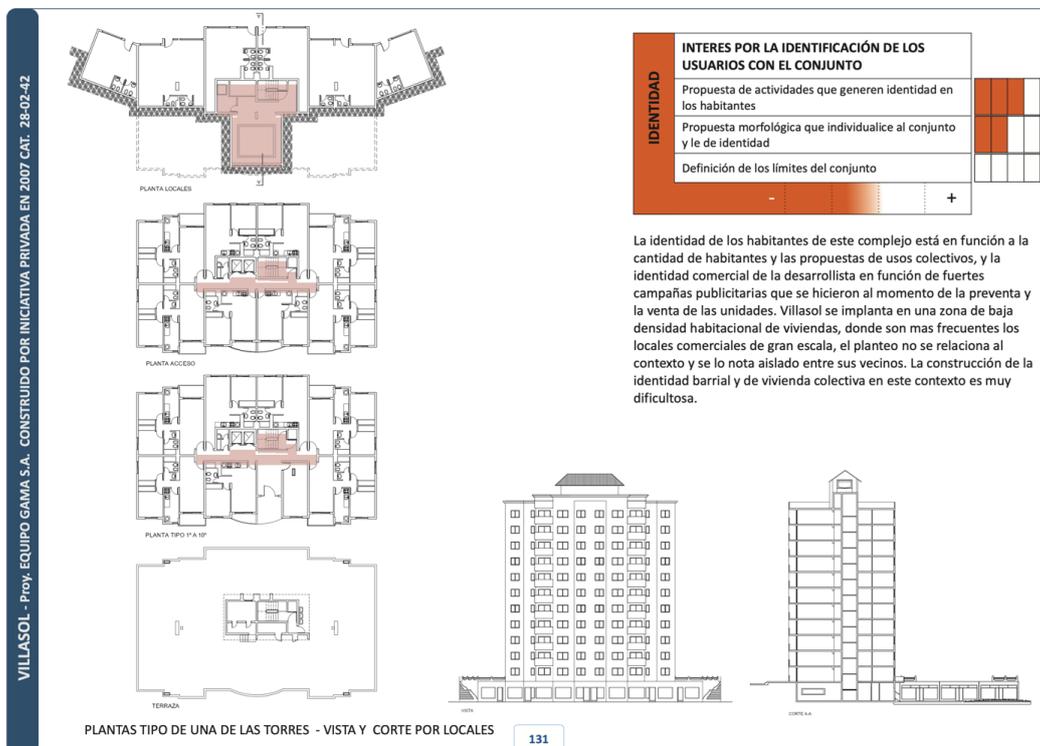


Figura 12. Ficha de análisis N°8

VILLASOL - Proy. EQUIPO GAMA S.A. CONSTRUIDO POR INICIATIVA PRIVADA EN 2007 CAT. 28-02-42



ROL DE LOS ESPACIOS COMUNES EN LA AUTONOMIA DE LAS VIVIENDAS	
Autonomía entre las circulaciones y las viviendas	<input checked="" type="checkbox"/>
Autonomía entre los bloques de vivienda	<input type="checkbox"/>
Autonomía entre los espacios comunes y las viviendas	<input checked="" type="checkbox"/>
ROL DE LOS ESPACIOS COMUNES EN LA AUTONOMIA DE LOS INDIVIUIOS	
Porcentaje de espacio común por habitante	<input checked="" type="checkbox"/>
Cantidad de usos similares simultáneos del espacio común	<input checked="" type="checkbox"/>
Cantidad de usos diferentes simultáneos del espacio común	<input checked="" type="checkbox"/>

**LIBERTAD**

El planteo de doble abanico genera situaciones de visuales encontradas entre los edificios enfrentados, a la vez que proyecta largas sombras arrojadas sobre los espacios comunes y las viviendas de los pisos inferiores afectando la autonomía de los individuos. El porcentaje de espacio común es adecuado para la escala pero la fragmentación derivada del plan de masas hace que se perciba asfixiante en los senderos ubicados entre el primer y segundo abanico, en este contexto la plaza se revela innecesariamente grande, en ninguna de las visitas realizadas se percibió un uso intensivo de la misma, tal vez por el actual estado de desarrollo de la propuesta paisajística; la redistribución de esta exagerada superficie, en los intersticios del complejo hubiera dado mayor aire a las torres y probablemente hubiera mejorado la insolación de las mismas.

Figura 13. Ficha de análisis N°9

VILLASOL - Proy. EQUIPO GAMA S.A. CONSTRUIDO POR INICIATIVA PRIVADA EN 2007 CAT. 28-02-42

El déficit más importante de esta propuesta habitacional se encuentra en la repetición prácticamente sin variantes de las torres, ya que se ven incapacitadas de resolver situaciones de remate, ordenamiento, control climático de las unidades e identidad de las partes dentro del conjunto. Es interesante mencionar que una de las mejores situaciones planteadas es la de las torres que incluyen los locales comerciales, donde un leve ajuste del basamento aporta una calidad al espacio semipúblico, que el resto de las situaciones no consiguen alcanzar.

PROPUESTA MORFOLÓGICO ESPACIAL	
Propuesta morfológica del conjunto en relación a las tendencias del momento	<input type="checkbox"/>
Propuesta espacial del los espacios comunes, en relación a las tendencias del momento	<input checked="" type="checkbox"/>
Desarrollo de la propuesta paisajísticas de espacio intermedio	<input type="checkbox"/>



Figura 14. Ficha de análisis N°10

fotografías son de autoría propia.

#### 4 CONCLUSIONES

Esta investigación abordó la problemática metodológica de la medición de la calidad de vida en los espacios semipúblicos de los conjuntos residenciales de media densidad. Se revisó el estado del arte de las propuestas arquitectónicas de conjuntos habitacionales tanto a nivel internacional como local, realizando un recorrido histórico por ejemplos del siglo XX que han marcado inflexiones en el debate proyectual. Estos ejemplos ayudaron a definir los paradigmas tipológicos disciplinares de la vivienda colectiva (ese capítulo de la tesis que no fue incluido en este artículo, puede consultarse en el documento original).

Se estudiaron diferentes teorías con el objetivo de construir una grilla de ponderación de características cualitativas del diseño, abordadas mediante indicadores cuantitativos de medición. La investigación se centró en la pregunta general: ¿Es posible establecer una metodología cuantitativa para medir la calidad de vida en los espacios semipúblicos de los conjuntos habitacionales de media densidad? A esta se añadieron preguntas específicas como: ¿Puede aplicarse una única metodología de análisis para conjuntos habitacionales con diferente cantidad de unidades? ¿Puede aplicarse una única metodología para conjuntos de gestión privada y estatal?

Estas preguntas convergieron en la hipótesis: La elaboración de una matriz útil tanto para el análisis como para la propuesta de los espacios colectivos de los conjuntos habitacionales permitirá evaluar los ejemplos existentes y mejorar las propuestas futuras de vivienda colectiva.

Para validar esta hipótesis, se evaluaron las propuestas arquitectónicas locales respecto a su capacidad para satisfacer las necesidades axiológicas humanas. Se construyó una matriz aplicada a una selección de siete ejemplos construidos en la ciudad de Córdoba bajo los códigos de ocupación de suelo y edificación vigentes. Estas propuestas incluían distintas escalas y complejidades, promovidas tanto desde el sector estatal como privado.

El carácter metodológico y sistémico de esta investigación se validó mediante un análisis comparativo de las necesidades axiológicas en

cada uno de los conjuntos seleccionados. Se colocaron gráficamente las fichas correspondientes a la satisfacción de cada necesidad en los siete ejemplos, permitiendo observar similitudes y diferencias. Aunque el procedimiento puede parecer sencillo, ofrece un alto nivel de efectividad para establecer comparaciones, vínculos, diferenciaciones, tendencias y déficits de manera transversal en los casos de estudio.

Este enfoque demostró ser una herramienta efectiva para evaluar y mejorar la calidad de vida en los espacios semipúblicos de los conjuntos habitacionales, proporcionando una base sólida para futuras propuestas de diseño en el ámbito de la vivienda colectiva.

#### 5 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración de la Arq. María Emilia Genaro, compañera en el trabajo diario en nuestro estudio de arquitectura: A+G [aqrs], también en el cursado de la maestría que llevo a la discusión conceptual permanente de este trabajo y por supuesto en la vida.

#### 6 REFERENCIAS

[1] M. Alazraki, *Metodología de medición de la calidad de vida en el espacio semipúblico de los conjuntos residenciales en la media densidad de la ciudad de Córdoba*, tesis de posgrado, Maestría en Gestión y Desarrollo Habitacional, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Univ. Nac. de Córdoba, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/4414>

[2] G. Gallopín, "Calidad de vida y necesidades humanas", *MARNR, Proyecto Sistemas Ambientales Venezolanos*, Doc. 12, Caracas, 1982. En: M. T. Delgado De Bravo, *Propuesta de medición de la calidad de vida urbana como objetivo de planificación y gestión local*, Inst. de Geografía, Univ. de Los Andes, Mérida, Venezuela. *Anales del IV Seminario Latinoamericano de Calidad de Vida Urbana*, Tandil, Argentina, 8–11 de septiembre de 1998. [En línea]. Disponible en: [http://www.perfilciutat.net/fitxers/IVSL\\_A9.pdf](http://www.perfilciutat.net/fitxers/IVSL_A9.pdf)

[3] V. Guzmán Ríos, *Espacios exteriores. Plumaje de la arquitectura*, México: Univ. Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, División de

Ciencias y Artes para el Diseño, 2007.

[4] O. Sepúlveda Mellado y D. Sepúlveda Swatson, “Espacio residencial urbano e integración social: una propuesta de medición”, *Boletín del Instituto de la Vivienda*, Univ. de Chile (INVI-FAUCH), 2003. [En línea]. Disponible en: [www.redalyc.com](http://www.redalyc.com)

[5] Dirección de Planeamiento Urbano, *Ordenanza 8256: Ordenanza Municipal sobre Ocupación del Suelo Urbano (y modificatorias)*, Córdoba: Secretaría de Planeamiento y Coordinación, Municipalidad de Córdoba, 1986. [En línea]. Disponible en: <https://servicios2.cordoba.gov.ar/docs/obrasprivadas/Ord%208256textoOrde.pdf>

[6] M. E. Genaro, M. R. Galíndez y M. Alazraki, CALIDAD DE VIDA Y ARQUITECTURA HABITACIONAL, *Hacia un abordaje sistémico del objeto*. Trabajo académico, realizado en el contexto de la MGyDH no publicado, 2007.

[7] M. A. Max-Neef, con colab. de A. Elizalde y M. Hopenhayn, *Desarrollo a escala humana: Conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones*, Montevideo, Uruguay: Editorial Nordan-Comunidad, 1993.



# MODELO INTEGRAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ACCESIBILIDAD AL CONTENIDO WEB

*Cecilia Elizabeth Gallardo<sup>1</sup>, Ana Funes<sup>2</sup>, Hernán César Ahumada<sup>1</sup>*

**1:** Departamento de Informática, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, Catamarca, Argentina

**2:** Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis, San Luis, Argentina

## COMPREHENSIVE MODEL FOR EVALUATING THE QUALITY OF WEB CONTENT ACCESSIBILITY

**RESUMEN:** El presente trabajo se enmarca en el área del Aseguramiento y Evaluación de la Calidad en Aplicaciones Web, dando respuesta a la necesidad de contar con un marco de referencia que permita conceptualizar y evaluar la accesibilidad al contenido web. Para ello, se propuso un modelo de calidad para la sub-característica “Accesibilidad” del modelo planteado en la norma ISO/IEC 25010, para lo cual se analizaron las Pautas de Accesibilidad al Contenido Web (WCAG) 2.0. El proceso completo de medición y evaluación se implementó siguiendo la estrategia integrada de Medición y Evaluación GOCAME (Goal-Oriented Context-Aware Measurement and Evaluation). A partir del modelo de conceptos de calidad elaborado, se desarrolló un modelo cuantitativo, basado en el método LSP (Logic Scoring of Preference), el cual permite evaluar la calidad de las aplicaciones web en cuanto a la accesibilidad de su contenido, entregando no solo un indicador global sino también indicadores parciales de acuerdo al modelo de conceptos de calidad propuesto. Otro aporte de esta tesis es un prototipo de aplicación web denominado M&ECalidadWeb, que brinda soporte y automatización al proceso de medición y evaluación de la calidad en aplicaciones web de acuerdo a las metodologías adoptadas en el trabajo de tesis.

**Palabras Claves:** Accesibilidad, Aplicaciones Web, Calidad, Métricas del Software, Métodos de Evaluación.

**ABSTRACT:** This work falls within the area of Quality Assurance and Evaluation in Web Applications, addressing the need for a reference framework to conceptualize and evaluate web content accessibility. To this end, a quality concept model corresponding to the “Accessibility” sub-characteristic of the ISO/IEC 25010 quality model was developed, for which the Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0 were analyzed. The entire measurement and evaluation process was implemented following the guidelines of the Goal-Oriented Context-Aware Measurement and Evaluation (GOCAME) strategy. From the quality concept model, a quantitative model based on the application of the Logic Scoring of Preference (LSP) method was also developed, which allows for the evaluation of web applications’ content accessibility, providing not only a global indicator but also partial indicators according to the proposed quality concept model. Another contribution of this thesis is a web application prototype named M&ECalidadWeb, which supports and automates the quality measurement and evaluation process of web applications according to the methodologies adopted in the thesis.

**KEYWORDS:** Accessibility, Web Applications, Quality, Software Metrics, Evaluation Methods.

## 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las aplicaciones web se han convertido en una plataforma de comunicación e interacción esencial para muchas organizaciones e individuos, siendo cruciales para el comercio electrónico, el intercambio de información y una gran cantidad de actividades sociales, educativas, gubernamentales, entre muchas otras. Por esta razón, es importante que ofrezcan servicios de calidad; principalmente, un contenido accesible, que no presente barreras que dificulten o

imposibiliten la utilización del sistema web, proporcionando un acceso equitativo e igualdad de oportunidades a las personas con discapacidades o con capacidades disminuidas.

La Accesibilidad constituye un requisito de calidad, especificado mediante el Modelo de Calidad de Producto Software del estándar ISO/IEC 25010 [1] como una sub-característica de la Usabilidad. En este estándar, se define a la Accesibilidad como el “grado en que un producto o sistema puede ser utilizado por personas con la más amplia gama de características y capacidades

para lograr un objetivo determinado en un contexto de uso especificado". A su vez, existen otros trabajos provenientes del área de Ingeniería Web [2] [3] [4] [5] [6] donde, al igual que en el estándar ISO/IEC 25010, no identifican ni definen, de manera exhaustiva, los atributos que permitan medir y evaluar un concepto de alto nivel y tan complejo como la accesibilidad a nivel general, ni tampoco la accesibilidad al contenido web como un enfoque más específico.

Por otra parte, desde otro contexto y con un enfoque práctico, la iniciativa WAI (Web Accessibility Initiative) del Consorcio W3C ha desarrollado sus Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) versión 2.0 [7], entendiéndose por contenido web la información dentro de una página web (texto, imágenes y sonidos, código o marcado, etc). WCAG 2.0 constituye un estándar internacional que proporciona pautas, criterios de éxito comprobables y técnicas, utilizados para evaluar los requerimientos de accesibilidad web de acuerdo a diversas necesidades.

Por ello, resulta necesario como punto de partida para la medición y evaluación de la Accesibilidad, la existencia de un modelo integral de atributos de calidad, que sirva de referencia para especificar, de manera precisa, los requisitos de accesibilidad al contenido web, tomando en cuenta las necesidades concretas de los usuarios según las aplicaciones objeto de evaluación, y que considere, además, el valioso aporte y recomendaciones de las pautas WCAG 2.0.

No obstante, para la medición y evaluación de la calidad de un producto de software, necesitamos modelos de calidad que consideren las características, atributos y relaciones que sean relevantes para un propósito dado y una necesidad de información de una categoría de entidad en concreto, como así también, es necesario contar con un enfoque transversal que guíe el proceso completo de medición y evaluación de la calidad. Es por ello que, para llevar a cabo este trabajo, se ha elegido adoptar la estrategia integrada de Medición y Evaluación (M&E) GOCAME (Goal-Oriented Context-Aware Measurement and Evaluation) [8].

GOCAME es una estrategia multipropósito que sigue un enfoque orientado a objetivos, en el cual todas las actividades son guiadas por un estado y necesidad de información específica [8]

[9]. Las actividades propuestas por la estrategia GOCAME siguen una secuencia determinada y se nutren de artefactos de entrada que surgen como salida de otra actividad. Así también, se involucran cálculos complejos, como en el caso de la obtención de valores de métricas e indicadores. Por esta razón, resulta fundamental contar con una herramienta software que gestione las distintas especificaciones que resultan de las actividades de GOCAME y que a la vez realice los cómputos de métricas e indicadores que permitan obtener los resultados finales de un proyecto de medición y evaluación de la calidad de un producto software. Teniendo en cuenta las necesidades formuladas, en este trabajo, se presenta una propuesta de soporte para la medición y evaluación de la accesibilidad al contenido web, consistente, por un lado, en un modelo de conceptos de calidad correspondiente a la sub-característica Accesibilidad del modelo de calidad ISO 25010, desarrollado analizando las Pautas de Accesibilidad al Contenido Web (WCAG) 2.0 y siguiendo los lineamientos de la estrategia integrada de Medición y Evaluación GOCAME [10]. Como parte de la estrategia adoptada, también se ha desarrollado un modelo cuantitativo, basado en el método LSP (Logical Scoring of Preference) [11] [12] [13], que permite reflejar la capacidad global del sistema evaluado para satisfacer todos los requisitos de Accesibilidad al Contenido Web. Por otro lado, como parte integral de la propuesta, se presenta como soporte a la estrategia GOCAME una aplicación web denominada M&ECalidadWeb, que permite la gestión y ejecución de artefactos para la medición y evaluación de aplicaciones web.

## 2 METODOLOGÍA

El presente trabajo se trata de una investigación aplicada de tipo exploratorio-descriptivo con aplicación en un contexto de estudio. Está especialmente orientado a describir, analizar y aplicar los principios y técnicas provenientes de la Ingeniería de Software e Ingeniería Web para realizar la conceptualización, medición y evaluación de la calidad del software.

Las unidades de estudio son la Ingeniería de Software e Ingeniería Web aplicadas al área de Aseguramiento de Calidad de Software y la unidad de análisis es la Accesibilidad al contenido

de aplicaciones web.

En las secciones 2.1 a 2.3, se describen las distintas etapas llevadas a cabo, de acuerdo a la metodología GOCAME, para la creación del modelo de calidad propuesto y las distintas métricas desarrolladas. En la sección 3 se describe la aplicación web desarrollada para dar soporte a la creación de modelos de calidad de acuerdo a GOCAME a la vez que se ejemplifica el proceso de implementación de la medición y evaluación usando la aplicación; en la sección 4 se describe la técnica aplicada para la validación del modelo propuesto y, finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones y trabajo futuro.

### 2.1 Definición de Modelo de Calidad de Software

El principal artefacto resultante de la actividad “A1. Definir los requisitos no funcionales” de GOCAME es un modelo con estructura de árbol, que contiene los requerimientos no funcionales, es decir, las características, sub-características y atributos, considerados para el proceso de evaluación del aspecto de calidad planteado para el proyecto. En dicho modelo, se define como característica calculable a aquella característica que no puede ser medida directamente, sino que su valor se obtiene a partir de otras sub-características y y/o atributos que la definen; es decir, son aquellas que representan conceptos de mayor nivel de abstracción. Una sub-característica, es a su vez, una característica calculable, mientras que se habla de atributos cuando estas características pueden ser medidas en forma directa mediante una métrica y constituyen las hojas del árbol.

Para esta actividad, se consideró la sub-característica “Accesibilidad” de la característica de calidad “Usabilidad” de la norma ISO 25010 [1], enriquecida con sub-características, atributos y relaciones, que permitan evaluar la Accesibilidad al Contenido Web. Para esto se realizó un análisis exhaustivo de la documentación provista por las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) 2.0, considerando todas las pautas, principios, criterios de conformidad Nivel A y técnicas suficientes y de asesoramiento relacionadas con las tecnologías HTML (HyperText Markup Language), CSS (Cascading Style Sheets), y scripting del lado cliente y del servidor [14], obteniéndose un modelo integral

para la característica principal Accesibilidad al Contenido Web, compuesto por 28 sub-características y 60 atributos medibles (hojas del árbol). En la Tabla 1 se muestra un extracto del modelo resultante, hasta un tercer nivel de desagregación de características, con excepción de la sub-característica 1.2.4 que se muestra completamente expandida, con todas sus sub-características y atributos que intervienen en la especificación; estos últimos en letra cursiva para su mejor identificación.

### 2.2 Diseño de métricas

Siguiendo el proceso definido en GOCAME, la actividad “A2. Diseñar la medición”, consiste en seleccionar una métrica adecuada, desde un repositorio de métricas, para cada atributo del árbol de requerimientos, en caso de contar con tal tipo de repositorios.

Para el presente trabajo, resultó necesario definir y acordar cada una de las métricas utilizadas, debido a la inexistencia de tal repositorio. Las métricas propuestas han sido definidas para cumplir con los atributos del modelo, los cuales poseen una relación muy estrecha con las técnicas suficientes del estándar WCAG 2.0, es decir, reflejan las formas confiables de satisfacer los criterios de conformidad de la norma. Por ejemplo, para el atributo “1.2.4.3.2. Contenido dinámico convocado y ubicado adecuadamente”, hubiese bastado con definir una función binaria (100=cumple/0=no cumple). Sin embargo, dada la riqueza del método, hemos optado por la definición de una métrica que aplica una escala de proporción, que devuelve valores entre 0 y 100, donde 0 corresponde a la ausencia total de satisfacción del criterio, pasando por valores intermedios hasta llegar a 100, valor que corresponde con el cumplimiento total del atributo del árbol de requerimientos. En la Tabla 2 se puede observar la definición de la métrica que permite cuantificar al atributo 1.2.4.3.2.

<p>1. Accesibilidad al Contenido Web</p> <p>1.1. Perceptibilidad del contenido</p> <p>1.1.1. Alternativas textuales adecuadas para contenido no textual</p> <p>1.1.2. Alternativas adecuadas para medios basados en tiempo</p> <p>1.1.3. Adaptabilidad del contenido</p> <p>1.1.4. Contenido distinguible</p> <p>1.2. Navegación y componentes IU operables</p> <p>1.2.1. Funcionalidad operable completamente desde teclado</p> <p>1.2.2. Tiempo suficiente para usar el contenido web</p> <p>1.2.3. Diseño de contenido que no causa convulsiones</p> <p>1.2.4. Diseño navegable</p> <p>1.2.4.1. Acceso directo a Secciones principales del Contenido</p> <p>1.2.4.1.1. <i>Enlaces adecuados para acceder directamente a secciones principales</i></p> <p>1.2.4.1.2. <i>Mecanismo adecuado para omitir una sección complementaria</i></p> <p>1.2.4.2. Títulos adecuados de páginas web</p> <p>1.2.4.2.1. <i>Uso adecuado de título de página web</i></p> <p>1.2.4.2.2. <i>Identificación de la relación de página web actual con el conjunto de páginas a la que pertenece</i></p> <p>1.2.4.3. Orden de enfoque de componentes adecuado</p> <p>1.2.4.3.1. <i>Elementos del contenido posicionados o tabulados adecuadamente</i></p> <p>1.2.4.3.2. <i>Contenido dinámico convocado y ubicado adecuadamente</i></p> <p>1.2.4.3.3. <i>Orden de enfoque personalizado por el usuario</i></p> <p>1.2.4.4. Uso e identificación adecuada del propósito de enlaces</p> <p>1.2.4.4.1. <i>Combinación e identificación adecuada de texto del enlace con información de contexto</i></p> <p>1.2.4.4.2. <i>Determinación del valor de enlace</i></p> <p>1.2.4.4.3. <i>Personalización adecuada de texto de enlaces</i></p> <p>1.2.4.4.4. <i>Información adicional para enlaces</i></p> <p>1.3. Comprensibilidad del contenido</p> <p>1.3.1. <i>Legibilidad de contenidos textuales mediante correcta identificación del idioma</i></p> <p>1.3.2. Previsibilidad del contenido</p> <p>1.3.3. Asistencia en el ingreso de datos en formularios web</p> <p>1.4. Robustez del contenido y compatibilidad</p> <p>1.4.1. <i>Correctitud sintáctica</i></p> <p>1.4.2. <i>Validación satisfactoria de páginas web</i></p>
--

Tabla 1: Extracto del modelo de calidad para Accesibilidad al contenido web

- **Atributo:** 1.2.4.3.2. Contenido dinámico convocado y ubicado adecuadamente
- **Métricas relacionadas:** #TA14 (Número total de páginas web); #CA12432 (Número de páginas web con contenido dinámico convocado y ubicado adecuadamente).
- **Método de Cálculo:**

$$\%CA12432 = \begin{cases} CA12432 / TA14 * 100, & \text{Si } TA14 > 0 \\ 100, & \text{Si } TA14 = 0 \end{cases}$$

Notar que cuando #TA14 = 0, %CA12432 vale 100 ya que no se considera incumplimiento del atributo sino ausencia de ítems relacionados al mismo.
- **Datos de Escala Numérica. Representación:** continua; **tipo de valor:** real; **tipo de escala:** proporción; **unidad:** porcentaje.

Tabla 2: Métrica indirecta %CA12432:  
Porcentaje de páginas web con contenido dinámico convocado y ubicado adecuadamente

### 2.3 Diseño de indicadores

En esta sección se describe, tal como lo establece el proceso de GOCAME, la actividad “A4. Diseñar la evaluación”. Notar que las actividades A3 y A5 de GOCAME no son tratadas aquí ya que corresponden a la etapa de evaluación del modelo y no a su creación.

En A4 se diseñan los indicadores, los cuales permiten interpretar los valores de los atributos a partir del resultado de cada métrica, así como de las características y sub-características de más alto nivel del árbol de requerimientos, permitiendo conocer de este modo no solo el grado de satisfacción global sino también de sub grupos de requisitos.

Se identificaron dos tipos de indicadores: 1) Indicador elemental, que interpreta el valor de un atributo mediante el uso de un modelo elemental y 2) Indicador parcial/global, cuyo valor deriva de otros indicadores de menor nivel y permite evaluar una (sub)característica calculable de nivel medio o alto de abstracción.

Las escalas de indicadores son interpretadas utilizando criterios de decisión acordes (también llamados niveles de aceptación), los cuales ayudan a analizar el nivel de satisfacción alcanzado por cada atributo, sub-característica o característica.

Respecto a los indicadores elementales, en nuestro análisis se determinó que la correspondencia entre métrica e indicador elemental es directa, ya que todas las métricas definidas poseen una escala porcentual que determina el nivel de cumplimiento del requisito. Esto es posible porque tanto la métrica y el indicador, poseen la misma escala y unidad. Por otra parte, para definir el modelo de agregación de los valores de indicadores parciales y global aplicamos el método cuantitativo de Puntuaciones Lógicas de Preferencias (LSP) [12], que se basa en técnicas de puntuación y lógica continua de preferencias y que ha sido incorporado por la metodología WebQEM [15], la que a su vez forma parte de la estrategia GOCAME.

Un modelo de agregación LSP permite computar indicadores parciales/global a partir de los indicadores elementales o parciales según el grado de anidamiento del árbol de requerimientos en el cual esté situada la sub-característica (o atributo) analizada. Cada indicador parcial hace uso de al menos otros 2 indicadores elementales

(o parciales) de menor jerarquía en el árbol de requerimientos. De esta manera, para los “n” valores de métricas correspondientes a los atributos del árbol de requerimientos, se obtienen, mediante el modelo elemental, “n” indicadores elementales. Luego, aplicando un mecanismo de agregación (o composición) paso a paso, los indicadores elementales se pueden ir agrupando convenientemente para producir una estructura de agregación final que permitirá obtener un único indicador global y múltiples indicadores parciales, que representan el grado de satisfacción de todos los requerimientos de calidad y de las distintas características y sub-características, respectivamente.

En el modelo de estructura de agregación desarrollado, básicamente se utilizaron seis operadores GCD (Generalized Conjunction Disjunction) de la lógica continua de LSP: C+, C-, C--, A, DA y D++. En la mayoría de los casos, los atributos deseables de un subárbol, se consideraron con una relación de simultaneidad, es decir, todos ellos deben ser satisfechos, modelándose dicha relación mediante el operador C-, el cual representa una relación de cuasi-conjunción débil, o bien, mediante el operador C--, que modela una relación de cuasi-conjunción más débil que C- y más cerca del operador A (media aritmética). En ambos casos, la presencia de un 0 (cero) o sea ausencia total de una característica/ atributo deseable en alguna de las entradas no producirá un 0 (cero) en la salida, si bien castigará a la misma.

La Figura 1 muestra la estructura de agregación de los atributos de la sub-características “1.2.4.4. Uso e identificación adecuada del propósito de enlaces” (ver Tabla 1), donde se requiere que el texto proporcionado con el enlace o su información de contexto sea adecuada y que a la vez se pueda determinar el valor del enlace, y como ayuda adicional se pueda personalizar el texto de un enlace o brindar información extra para el mismo (atributos 1.2.4.4.1 a 1.2.4.4.4). En este caso, los dos primeros requisitos son considerados deseables y los dos últimos opcionales, es por ello que se ha aplicado una estructura de absorción parcial de LSP, donde intervienen los operadores C- y C-- que castigan la ausencia de atributos y el operador A, que modela una relación que no posee polarización y que está en el medio

entre los operadores de reemplazabilidad y de simultaneidad (para requisitos opcionales).

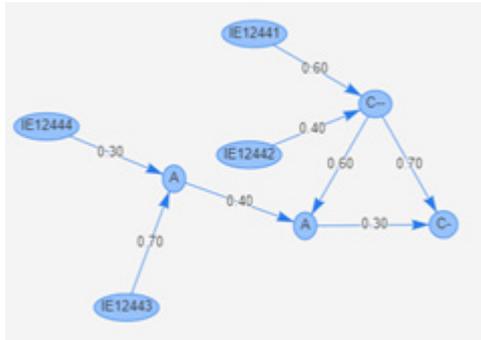


Figura 1. Estructura de agregación LSP para la subcaracterística “1.2.4.4. Uso e identificación adecuada del propósito de enlaces”.

### 3 Aplicación Web para la gestión y cálculo de métricas e indicadores

Con el fin de brindar soporte automatizado al evaluador durante el proceso de medición y evaluación de la calidad en Aplicaciones Web, dentro del contexto de este trabajo, se desarrolló el sistema web al que denominamos M&ECalidadWeb, el cual está basado en el marco conceptual C-INCAMI (Contextual-Information Need, Concept model, Attribute, Metric and Indicator) [8] y en las especificaciones del proceso de medición y evaluación de calidad, ambos componentes principales de la estrategia

GOGAME [10]. Así también, en algunas cuestiones, M&ECalidadWeb se ajusta al dominio del modelo desarrollado, tal como se comentará en los siguientes párrafos.

El objetivo de M&ECalidadWeb es gestionar toda la información que resulta del diseño de la medición y evaluación de la calidad en aplicaciones web, para luego calcular en forma automática los indicadores parciales y global, proceso que resulta muy complejo si se debe realizar en forma manual. M&ECalidadWeb se implementó mediante el framework de código abierto para desarrollo web Grails [16] y el lenguaje dinámico de programación Groovy [17], el cual también se ejecuta sobre la plataforma Java. Grails es un framework que se basa en el patrón arquitectónico Modelo-Vista-Controlador (MVC), que promueve la reutilización de código y la separación de conceptos, características que buscan facilitar la tarea de desarrollo de aplicaciones y su posterior mantenimiento.

#### 3.1 Modelo de conceptos de la aplicación web

Siguiendo el marco conceptual C-INCAMI de GOCAME y las necesidades propias del modelo de calidad de la accesibilidad web se creó un modelo de clases del dominio del sistema M&ECalidadWeb, el cual refleja los principales conceptos de la aplicación y sus relaciones y que es mostrado en la Figura 2.

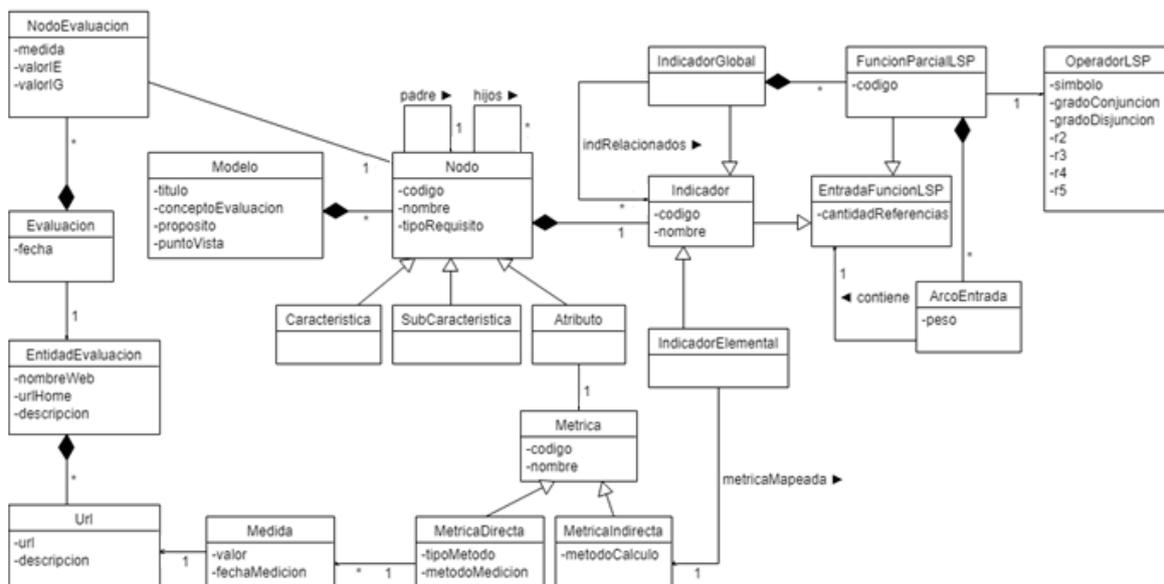


Figura 2. Modelo de clases del dominio de M&ECalidadWeb.

### 3.2 Principales funcionalidades de M&ECalidadWeb

A continuación, se explican las principales funciones de M&ECalidadWeb, aplicadas a un proyecto de medición y evaluación de la accesibilidad al contenido web. Se define la necesidad de información para el presente caso de estudio como “conocer, examinar y evaluar la característica de calidad externa Accesibilidad al Contenido Web de Aplicaciones Web, desde el punto de vista de usuarios con algún tipo de discapacidad total, parcial y/o personas mayores”. La entidad de evaluación seleccionada es el sitio web de ANSES, donde el subconjunto de páginas web a evaluar son las relacionadas con embarazo y nacimiento.

M&ECalidadWeb cuenta con una portada principal con un panel de opciones para acceder a toda la funcionalidad de la aplicación, tal como se muestra en la Figura 3 y se describe en las secciones 3.2.1 a 3.2.6.



Figura 3. Portada principal de la aplicación web M&ECalidadWeb

#### 3.2.1 Gestión de modelos de calidad

Los principales atributos de un modelo de calidad, además de su título, concepto de evaluación, propósito y punto de vista de evaluación es el árbol de requerimientos, el cual se compone de la característica de evaluación principal, sub-características y atributos. En la Figura 4 se muestra un extracto del modelo de calidad desarrollado para la evaluación de la Accesibilidad al Contenido Web. M&ECalidadWeb permite especificar para cada atributo del árbol, el código

de la métrica que lo cuantifica y el código del indicador elemental correspondiente y, para el caso de las sub-características y características, mostrar el código del indicador parcial/global asociado.



Figura 4. Gestión de Modelo de Calidad en M&ECalidadWeb

#### 3.2.2 Gestión de métricas directas e indirectas

Para las métricas directas, además de código y nombre, se puede especificar el procedimiento de medición con el cual se obtiene el valor de medida de un atributo en particular. En la mayoría de los casos, este tipo de métricas son auxiliares y se utilizan en la especificación de métricas indirectas. En el caso de las métricas indirectas, la aplicación M&ECalidadWeb permite registrar código, nombre, atributo del árbol de requerimientos a la que corresponde, métricas relacionadas y, además, un método de cálculo que consiste en un algoritmo de programación escrito en lenguaje Groovy. Esto permite realizar un cálculo automático para obtener el valor de medida del atributo correspondiente.

#### 3.2.3 Gestión de indicadores elementales

Los indicadores elementales evalúan los atributos del árbol de requerimientos. Para el caso puntual del modelo de calidad de accesibilidad web desarrollado la correspondencia entre métrica e indicador elemental es directa, ya que todas las métricas definidas poseen una escala porcentual que se corresponde con el nivel de cumplimiento del requisito. Es por ello que, al registrarse un nuevo indicador elemental, solo se debe indicar, además de un código y nombre, a qué atributo del árbol de requerimientos corresponde, recuperándose

automáticamente la métrica asociada al atributo.

### 3.2.4 Gestión de indicadores parciales/global

Los indicadores parciales y global permiten evaluar una característica calculable de nivel medio o alto de abstracción, haciendo uso de un modelo especificado por el método LSP, tal como se explicó en secciones anteriores.

Al registrar un indicador parcial/global, se debe ingresar un código y nombre. M&ECalidadWeb presenta una lista con las sub-características y característica del modelo de calidad ya creado, para que el usuario seleccione una en particular y, de esta manera, el sistema pueda recuperar todos los indicadores elementales o parciales correspondientes a los atributos o conceptos anidados bajo la característica seleccionada. A continuación, se debe gestionar la estructura de agregación LSP correspondiente. En la Figura 5 se muestra la interfaz donde se ven los datos básicos de un indicador parcial/global, como así también, un grafo para representar la estructura de agregación de las funciones GCD asociadas al indicador.

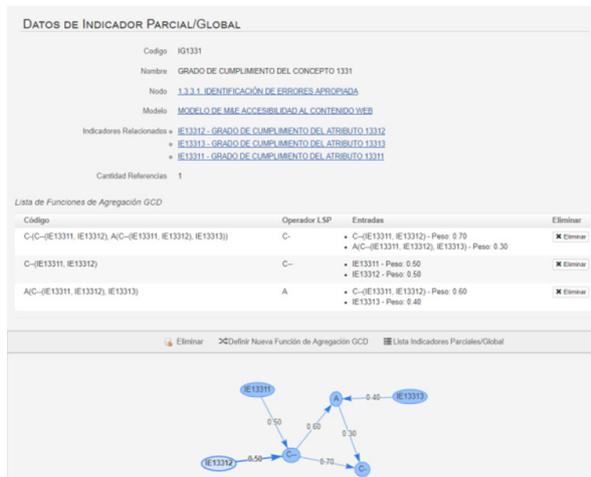


Figura 5. Gestión de indicador parcial/global en M&ECalidadWeb.

### 3.2.5 Gestión de operadores de agregación GCD

Las funciones u operadores de agregación GCD provistas por el método LSP permiten crear una estructura de agregación, indicando sus entradas, pesos y operadores GCD. Con el fin de establecer una entrada a una función GCD, M&ECalidadWeb muestra una lista desplegable que contiene los indicadores elementales o parciales anidados bajo

la sub-característica correspondiente al indicador seleccionado. Además, el sistema incorpora de forma dinámica a esta lista la salida de la estructura de agregación asociada al indicador en cuestión, de manera que quede disponible como entrada para un próximo paso de agregación de características. En la Figura 6, se muestra la correspondiente interfaz en M&ECalidadWeb, en donde se observa cuáles son las salidas de funciones o los indicadores elementales que pueden ser seleccionados como entrada de un nuevo operador, en este caso el operador A. Se muestra seleccionada C--(IE13311, IE13312), que representa la salida correspondiente a un operador C--, el cual ya ha agregado los indicadores elementales IE13311 y IE13312.

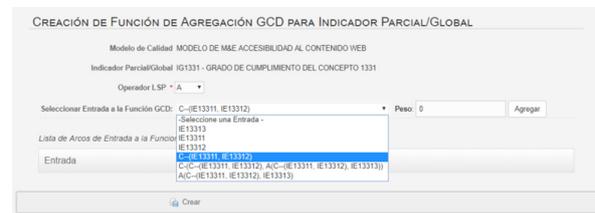


Figura 6. Gestión de función de agregación GCD para indicador parcial/global en M&ECalidadWeb

### 3.2.6 Gestión de otros parámetros

El sistema permite también gestionar las distintas entidades a evaluar, donde se debe ingresar el nombre de la aplicación web a evaluar, su URL principal y la colección de todas las URL de las páginas web que se desean revisar.

Así también, permite el registro de operadores LSP, los cuales intervienen en la creación de una estructura de agregación LSP. Para registrar un nuevo operador, M&ECalidadWeb solicita el ingreso del símbolo que lo representa, su nombre, el grado de conjunción y de disyunción, y los valores del exponente r de la función según la cantidad de entradas (de 2 a 5).

Antes de una evaluación, se deben registrar en el sistema, las medidas que corresponden a los valores de las métricas directas en base a la observación y evaluación de una página web en particular. Acá el sistema lista todas las métricas directas asociadas al modelo de calidad, para que el usuario ingrese/modifique los valores de la medición.

### 3.2.7 Implementación de la evaluación

Para realizar la implementación de la evaluación

propiamente dicha, el sistema solicita la selección de un modelo de calidad y una entidad a evaluar para realizar los cálculos correspondientes. Con los valores registrados de las medidas de las métricas directas del modelo, M&ECalidadWeb realiza un recorrido del árbol de requerimientos desde las hojas a la raíz, para ir obteniendo los valores de las métricas indirectas de atributos (hojas del árbol) en base al método de cálculo especificado en cada una; luego, asigna este número al valor de los indicadores elementales. Finalmente, realiza el cálculo de los indicadores parciales de las sub-características y de la característica del árbol (raíz), devolviendo el valor de preferencia de cada indicador parcial/global.

Esta funcionalidad de M&ECalidadWeb brinda un valor agregado a la fase de implementación de la evaluación, ya que de otra manera el evaluador debería realizar un sinnúmero de cálculos manuales, con altas probabilidades de cometer errores.

En la Figura 7 se muestra un fragmento del resultado de la evaluación del sitio de ANSES en base a las medidas registradas y al modelo de evaluación propuesto, exponiendo los valores de indicadores elementales y parciales/global para cada ítem del árbol de requerimientos. M&ECalidadWeb muestra, además, al lado de cada indicador, los niveles de aceptabilidad, como criterio de decisión, de acuerdo al siguiente criterio:

- Rojo (Insatisfactorio): deben tomarse acciones de cambio con una alta prioridad, identificando aquellos aspectos más críticos ( $0 \leq \text{Indicador Parcial/Global} \leq 35$ ).
- Amarillo (Regular): necesidad de acciones de mejora ( $35 < \text{Indicador Parcial/Global} \leq 70$ ).
- Verde (Satisfactorio): calidad satisfactoria de la característica analizada, no requiriendo medidas correctivas ( $70 < \text{Indicador Parcial/Global} \leq 100$ ).

Requisitos de calidad para el Concepto: ACCESIBILIDAD AL CONTENIDO WEB

IE-Indicador Elemental - IPG-Indicador Parcial/Global

Características y Atributos	Medida	Valor IE	Valor IPG
1. ACCESIBILIDAD AL CONTENIDO WEB			41.5318
1.1. PERCEPTIBILIDAD DEL CONTENIDO			51.5318
1.1.1. ALTERNATIVAS TEXTUALES ADECUADAS PARA CONTENIDO NO TEXTUAL			100%
1.1.1.1. ALTERNATIVAS TEXTUALES CORTAS ADECUADAS PARA CIERTOS CONTENIDOS NO TEXTUALES			100%
1.1.1.1.1. ALTERNATIVA TEXTUAL ADECUADA PARA UNA IMAGEN	100%	100%	
1.1.1.1.2. ALTERNATIVA TEXTUAL ADECUADA PARA UN GRUPO DE IMÁGENES ADYACENTES	100%	100%	
1.1.1.1.3. ALTERNATIVA TEXTUAL ADECUADA PARA COMPOSICIONES DE CARACTERES ASCII	100%	100%	
1.1.1.1.4. ALTERNATIVA TEXTUAL ADECUADA PARA CONTENIDO DE AUDIO Y VIDEO EN DIRECTO	100%	100%	
1.1.1.1.5. ALTERNATIVA TEXTUAL ADECUADA PARA REGIONES SELECCIONABLES DE MAPA DE IMAGEN	100%	100%	
1.1.1.2. ALTERNATIVA TEXTUAL LARGA ADECUADA PARA CONTENIDO NO TEXTUAL	100%	100%	
1.1.1.3. PERCEPTIBILIDAD DE PRUEBAS CAPTCHA			100%
1.1.1.3.1. ALTERNATIVA TEXTUAL ADECUADA PARA CAPTCHA	100%	100%	
1.1.1.3.2. DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA CUMPLIR PRUEBA CAPTCHA	100%	100%	
1.1.1.4. MECANISMO ADECUADO DE OCULTAMIENTO PARA IMÁGENES DECORATIVAS	100%	100%	
1.1.2. ALTERNATIVAS ADECUADAS PARA MEDIOS BASADOS EN TIEMPO			100%
1.1.2.1. TRANSCRIPCIÓN TEXTUAL ADECUADA PARA MEDIOS BASADOS EN TIEMPO	100%	100%	

Figura 7. Fragmento de la evaluación del sitio de ANSES en M&ECalidadWeb

#### 4 Validación de las métricas propuestas

Al proponerse una nueva métrica de software existe el problema de demostrar que la métrica propuesta es adecuada para medir el software [18] [19], lo cual debe realizarse a través de un proceso de validación. Al respecto, durante las últimas cuatro décadas, los investigadores han debatido sobre qué constituye una métrica “válida”, centrándose en los criterios de validación de métricas de software [20]. Aun así, de la revisión de la literatura, se observa que no existe un consenso común en el concepto de validación de métricas de software, el cual especifique, taxativamente, los criterios que se deberían cumplir para considerar válida una métrica dada.

En este trabajo, para validar tanto las métricas definidas para medir los atributos del árbol de requerimientos, como las estructuras de agregación del modelo cuantitativo LSP propuesto, se ha adoptado la metodología propuesta por Meneely et al. en [21], a la que se arribó mediante una revisión sistemática de la literatura. En [21] se realiza una categorización de criterios, relaciones y ventajas para cada uno de ellos y, además, se presenta un proceso paso a paso para seleccionar los criterios apropiados de validación de métricas, basado en la intención de uso de la métrica, y observando las ventajas que brindan los diferentes criterios de acuerdo al proyecto en cuestión. En la Tabla 3 se observa la articulación de las ventajas de cada criterio de validación de métricas, enmarcados dentro de dicha metodología.

Utilizando la Tabla 3, la metodología propuesta por Meneely sugiere seleccionar las ventajas que se consideren apropiadas para el uso previsto de las métricas, que se deseen presentar a la comunidad de investigadores o al equipo de desarrollo de software.

En nuestro trabajo, el criterio adoptado de validación fue demostrar que cuando se implementan las métricas definidas, éstas permitan obtener valores que reflejen con “correctitud” (correctness) el estado del sistema evaluado. En consecuencia, se seleccionaron los criterios asociados con la correctitud, los cuales, como se ve en la tabla, son: (#10) Validez de constructo, (#20) Validez de instrumento, (#26) Fiabilidad de métrica, (#30) Validez de notación, (#35) Validez del protocolo y (#41) Estabilidad, demostrándose

#	Criterio	Solidez matemática	Practicidad	Correctitud	Eficiencia	Fortalecimiento de hipótesis	Significancia	Información para toma de decisión	Centrado en la calidad	Construcción de teoría	Contribución del consenso	Detección de diferencias
1	Validez a priori					X						
2	Accionabilidad		X					X				
3	Continuidad adecuada	X					X					
4	Granularidad adecuada											X
5	Asociación							X		X		
6	Validez de atributo						X				X	
7	Validez de modelo causal		X					X		X		
8	Validez de relación causal		X					X		X		
9	Validez de contenido						X				X	
10	Validez de constructo			X							X	
11	Constructividad							X		X		
12	Validez de la definición										X	
13	Poder discriminativo		X					X		X		
14	Consistencia dimensional	X					X					
15	Validez económica		X					X				
16	Validez empírica					X				X		
17	Validez externa							X	X	X		
18	Independencia de factores					X	X					
19	Validez de mejora				X							
20	Validez del instrumento	X		X								
21	Validez de crecimiento creciente	X									X	
22	Sensibilidad a la interacción	X									X	
23	Consistencia interna						X					
24	Validez interna						X					
25	Monotonidad	X										
26	Fiabilidad de métrica			X								
27	No colinealidad					X			X			
28	No explotabilidad		X									
29	No uniformidad	X					X					X
30	Validez de notación			X							X	
31	Validez de permutación						X					
32	Predictibilidad		X						X	X		
33	Validez de sistema de predicción		X					X	X			
34	Relevancia de producto o proceso		X									
35	Validez de protocolo			X							X	
36	Consistencia de rango					X		X	X			
37	Insensibilidad a cambio de nombre						X					
38	Repetibilidad					X				X		
39	Condición de representación	X					X					
40	Validez de escala	X										
41	Estabilidad			X								X
42	Validez teórica						X					
43	Rastreabilidad					X		X				
44	Invariancia de transformación											X
45	Validez de teoría subyacente									X		
46	Validez de unidad						X					
47	Usabilidad		X	X					X			

Tabla 3. Mapeo de criterios de validación hacia ventajas [21]

que las métricas y estructuras LSP desarrolladas cumplieran con dichos criterios de validación. No obstante, también se podría llevar a cabo una validación empírica, realizando experimentos para determinar si un grupo de personas con discapacidad acuerdan sobre la existencia de un atributo, o si el mapeo del mundo real al modelo mental empírico es una representación adecuada

del atributo, entre otros aspectos. Luego, estos estudios podrían ser corroborados mediante coeficientes que midan el grado de consistencia y homogeneidad entre las respuestas de los encuestados, tal como el coeficiente ALPHA para la estructura interna de pruebas [22].

## 5 CONCLUSIONES

Un primer aporte de este trabajo consiste en un modelo de calidad compuesto por características, sub-características y atributos que permiten identificar, cuantificar y evaluar el concepto Accesibilidad al contenido en aplicaciones web. Para ello se analizaron exhaustivamente las pautas y criterios de conformidad de la norma WCAG 2.0, las cuales brindan un enfoque práctico de los aspectos que se deben cumplir para alcanzar el objetivo de la accesibilidad. Consideramos que el modelo de calidad desarrollado permite tanto a los diseñadores de sitios web como a los evaluadores de calidad, contar con criterios de evaluación de calidad, sistemáticamente definidos para satisfacer la accesibilidad al contenido web.

Otra contribución de este trabajo es un modelo cuantitativo para evaluar los atributos y características de más alto nivel que hacen a la accesibilidad del contenido web, el cual permite obtener como resultado final un indicador global del grado de satisfacción de dicha característica, a la vez que ofrece indicadores parciales de la misma. Dicho modelo de evaluación ha sido desarrollado siguiendo las pautas del método LSP, reflejando con precisión las relaciones entre atributos (simultaneidad, reemplazabilidad, neutralidad) y todas las necesidades de los usuarios finales que, en este caso, representan a aquellas personas con algún tipo de discapacidad o dificultad.

Para acompañar el proceso de medición y evaluación de la calidad en aplicaciones web siguiendo la estrategia GOCAME, se desarrolló la aplicación web denominada M&ECalidadWeb, cuyo objetivo es gestionar todos los artefactos resultantes de las distintas etapas del proceso mencionado. M&ECalidadWeb registra el modelo de calidad, diseño de métricas e indicadores y la medición de páginas web como entradas, y realiza el cálculo automático de métricas e indicadores para cada nivel del árbol de requerimientos de calidad, ahorrando al evaluador un sinfín de

cálculos manuales propensos a errores.

Tanto el modelo de conceptos de calidad, el modelo cuantitativo de evaluación y la aplicación web M&ECalidadWeb desarrollados en esta tesis, se aplicaron en el proceso de medición y evaluación de una sección del sitio web de ANSES. Esto permitió detectar varios incumplimientos de la accesibilidad al contenido web, como así también, se pudo obtener una evaluación integral de las páginas analizadas, examinando en conjunto aquellos aspectos de valoración subjetiva que no son considerados por herramientas automáticas, ya que requieren del análisis humano. Si la evaluación solo se hubiera limitado a las características de medición objetiva, la puntuación final de la evaluación del sitio hubiese estado sesgada y no sería del todo fidedigna, debido a la incidencia que tienen los atributos excluidos, que pueden disminuir o aumentar el indicador global en un valor considerable.

Finalmente, cabe mencionar que el proceso completo de medición y evaluación de la calidad del software, referido al aspecto accesibilidad al contenido web, ha sido implementado siguiendo los lineamientos de diferentes estrategias, metodologías y estándares, como lo son la estrategia GOCAME, el método LSP, la Ingeniería Web, donde se contextualiza este trabajo, y los estándares ISO 25010 y WCAG2.0. Esto ha permitido evidenciar los beneficios de utilizar disciplinas y metodologías consolidadas para formalizar el proceso de evaluación del software en general y de la característica *accesibilidad* en particular.

En cuanto al trabajo futuro, consideraremos abordar otras formas de validación, como por ejemplo la validación empírica y otras que pudieran surgir, a fines de comparar esos resultados con los resultados teóricos obtenidos.

## 6 REFERENCIAS

- [1] ISO/IEC 25010, "Systems and software engineering - System and software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)" - System and software quality models, 2011
- [2] G. Brajnik, "Towards Valid Quality Models for Websites", 7th Conference on Human Factors and the Web. Madison, Wisconsin, 2001

- [3] J. Offutt, "Quality Attributes of Web Software App", IEEE Software, Vol. 19, 2002, pp. 25-32
- [4] L. Hasan, E. Abuelrub, "Assessing the quality of web sites", Applied Computing and Informatics, Vol. 9, N° 1, 2011, pp. 11-29
- [5] T. Orehovacki, "Proposal for a set of quality attributes relevant for Web 2.0 application success". Information Tech. Interfaces (ITI), 2010. 32nd Int. Conf. Cavtat, Dubrovnik, 2010
- [6] R. Polillo, "Quality Models for Web 2.0, Sites: A Methodological Approach and a Proposal", LNCS. Current Trends in Web Engineering, Vol. 7059, 2011, pp. 251-265
- [7] WAI, W3C, "Web Content Accessibility Guidelines 2.0", 2008. [Online]. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/WCAG20/>
- [8] L. Olsina, F. Papa, H. Molina, "How to Measure and Evaluate Web Applications in a Consistent Way", Web Engineering: Modelling and Implementing Web Applications. Springer-Verlag, London, 2008, pp. 385-420
- [9] L. Olsina, P. Lew, A. Dieser, B. Rivera, "Updating Quality Models for Evaluating New Generation Web Applications", Journal of Web Engineering, 2012
- [10] P. Becker, F. Papa, L. Olsina, "Enhancing the Conceptual Framework Capability for a Measurement and Evaluation Strategy". Current Trends in Web Engineering. Springer, 2013, pp. 104-116
- [11] Y. S. Stanley, J. Dujmovic, D. Batory, S. Navathe, R. Elnicki, "A cost-benefit Decision Model: Analisis, Comparison, and Selection of Data Management Systems". ACM Transactions on Database Systems, Vol. 12, N° 3, 1987, pp. 472-520
- [12] J. Dujmovic, "Continuous Preference Logic for System Evaluation". IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 15, N° 6, 2007, pp. 1082 – 1099
- [13] J. Dujmovic, "A Method for Evaluation and Selection of Complex Hardware and Software Systems". The 22nd International Conference for the Resource Management and Performance Evaluation of Enterprise Computing Systems, CMG 96 Proceedings, 1996
- [14] C. E. Gallardo, A. Funes, "Un Modelo para la Evaluación de la Calidad de la Accesibilidad al Contenido Web". CONAIISI 2015. Buenos Aires, Argentina, 2015
- [15] L. Olsina, G. Rossi, "Measuring Web Application Quality with WebQEM". IEEE Multimedia, Vol. 9, N° 4, 2002, pp. 20-29
- [16] G. Smith, P. Ledbrook, "Grails in Action". Manning Publications Co. Greenwich, 2009
- [17] A. L. Davis, "Learning Groovy". Apress, 2016
- [18] K. Srinivasan y T. Devi, "A Novel Software Metrics and Software Coding Measurement in Software Engineering", International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, vol. 4, n° 3, 2014, pp. 303-308
- [19] K. Srinivasan y T. Devi, "A Complete and Comprehensive Metrics Suite for Object Oriented Design Quality Assessment", International Journal of Software Engineering and Its Applications, vol. 8, n° 2, 2014, pp. 173-188
- [20] K. Srinivasan y T. Devi, "Software metrics validation methodologies in software engineering", International Journal of Software Engineering & Applications, vol. 5, n° 6, 2014, pp. 87
- [21] A. Meneely, B. Smith y L. Williams, "Validating software metrics: A spectrum of philosophies", ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM), vol. 21, n° 4, 2013, pp. 1-28
- [22] L. J. Cronbach, "Coefficient alpha and the internal structure of tests", psychometrika, vol. 16, n° 3, 1951, pp. 297-334

# IMPACTO DE LA POLITICA DE VIVIENDA EN CIUDADES INTERMEDIAS

## CASO CIUDAD DE SAN FERNANDO DEL VALLE DE CATAMARCA

### TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAGISTER

Año 2019

*Myriam Gomez Astudillo*

## IMPACT OF HOUSING POLICY IN MEDIUM-SIZED CITIES

### CASE STUDY OF SAN FERNANDO DEL VALLE DE CATAMARCA

**RESUMEN:** Las políticas públicas de vivienda en Argentina han generado impactos significativos en las ciudades, particularmente aquellas con tierra vacante, llevando a un crecimiento desordenado y sin planificación. Este patrón de crecimiento se ha intensificado en los últimos 20 años, evidenciado por un aumento del 39% en la población y una expansión del 116% en las áreas urbanizadas, mientras que la densidad poblacional ha disminuido en un 32%. Esto resulta en un consumo de suelo urbano por habitante que ha crecido en aproximadamente un 70%. [1]

San Fernando del Valle, capital provincial y ciudad intermedia en el sistema urbano nacional, ha experimentado un crecimiento demográfico notable y transformaciones físicas, aunque su desarrollo presenta ciertas desventajas. La construcción de viviendas ha sido la obra pública de mayor impacto territorial. Este trabajo busca describir y analizar el proceso de expansión urbana en esta ciudad, diagnosticando sectores barriales afectados por políticas de vivienda e identificando atributos clave de urbanización que respaldan su hipótesis.

**Palabras Claves:** Patrón de crecimiento. Fragmentación urbana. Acceso a la vivienda. Identidad barrial.

**ABSTRACT:** Public housing policies in Argentina have generated significant impacts in cities, particularly those with vacant land, leading to disorganized and unplanned growth. This growth pattern has intensified in the last 20 years, evidenced by a 39% increase in population and a 116% expansion of urbanized areas, while population density has decreased by 32%. This results in an urban land consumption per inhabitant that has increased by approximately 70%.

San Fernando del Valle, the provincial capital and an intermediate city in the national urban system, has experienced remarkable demographic growth and physical transformations, although its development presents certain disadvantages. The construction of housing has been the public work with the most significant territorial impact. This paper aims to describe and analyze the process of urban expansion in this city, diagnosing neighborhood sectors affected by housing policies and identifying key urbanization attributes that support its hypothesis.

**Keywords:** Growth pattern. Urban fragmentation. Access to housing. Neighborhood identity

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente artículo tratará de sintetizar el estudio realizado acerca del impacto de políticas públicas de vivienda en la Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca. El mismo se desarrolló en el marco de la Maestría de Gestión y Desarrollo Habitacional, que se dicta en la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño Industrial de la Universidad Nacional de Córdoba, y se defendió en el año 2019.

En este estudio se contextualiza a la Ciudad en el

territorio, con aspectos relevantes que caractericen su medio de inserción, aspectos económicos, sociodemográficos y socio-habitacionales. Se sintetiza el proceso de ocupación a través de sus elementos estructurantes y la caracterización de los patrones de crecimiento.

Luego, a partir de realizar un diagnóstico de sectores barriales con mayor huella de la política de vivienda, se identifican los principales atributos de urbanización que argumentan la hipótesis de este trabajo. En este artículo solo se presentan los aspectos más importantes y las síntesis conclusivas de los análisis y diagnósticos, como así también

<sup>1</sup>Magister en Gestión y Desarrollo Habitacional de la Universidad Nacional de Córdoba- Doctoranda en Arquitectura del Posgrado de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Arquitecta de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la U.N.C. Profesora adjunta de Urbanismo ecológico 1 y de Matemática aplicada y Asesora de Tesis de grado de la carrera de Arquitectura de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Fue directora del Plan Urbano Ambiental del la Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca -2003-2011- Fue Directora de la Unidad Sectorial de Inversión Pública del Ministerios de Servicios Públicos de la Provincia de Catamarca 2014-2019-

reflexiones finales.

El marco de análisis parte de considerar que, en las ciudades argentinas, a partir del análisis de la “evolución de la mancha urbana”<sup>2</sup>, tomando como referencia los datos censales de 1991, 2001, y 2010, se observa que la población aumento en 39%, las superficies urbanizadas se extendieron en 116%, y la densidad disminuyó en 32%, lo que arroja un consumo de suelo urbano por habitante que se incrementa en aproximadamente un 70%.

De esta manera se puede decir que el crecimiento desordenado, espontáneo y sin planificación, es el “patrón de crecimiento predominante” que se produce en la mayoría de las ciudades argentinas y que se intensifica en los últimos 20 años.

La ciudad en estudio es San Fernando del Valle, capital de la provincia con un rol de ciudad intermedia<sup>4</sup>, dentro del sistema urbano regional, la cual ha tenido en estas últimas décadas un importante crecimiento demográfico y fuertes transformaciones físicas, aunque presenta un atraso relativo en su desarrollo.

Los indicadores relevados indican que la ciudad capital y su área de influencia presentan un incremento de población de un 47% y que el consumo de suelo por habitante un 66%. La superficie urbanizada creció en 147% y la densidad de población disminuyó 40%.<sup>5</sup> Si bien existen múltiples razones que inciden en estos indicadores del crecimiento y expansión urbana, las políticas públicas de vivienda no son ajenas a este proceso y tienen una incidencia promedio del 27% en la superficie de uso de suelo, mayor al promedio nacional que significa un 16%.

Si bien el proceso de urbanización es un fenómeno mundial, en particular las ciudades argentinas concentran el 92% de población, con lo cual el tema urbano debe ocupar un lugar destacado en la agenda pública. Catamarca no escapa a esta lógica de crecimiento y por ello se deberá trabajar en estrategias que regulen este patrón de crecimiento para lograr una adecuada distribución poblacional y una óptima ocupación del suelo que genere las

condiciones para un desarrollo urbano sostenible. La ciudad en su territorio, con sus áreas de gestión tanto provincial como municipal, debe establecer una agenda de discusión y definición de temas estratégicos y estructurantes para mejorar las áreas urbanas. El sector privado y los sectores sociales organizados deber ser parte de esta discusión, en especial los vinculados a la construcción de viviendas, empresas constructoras y comercios vinculados al tema, así como también centros vecinales, gremios, u otro tipo de organización.

### **Palabras Clave:**

Patrón de crecimiento. Fragmentación urbana. Acceso a la vivienda. Identidad barrial.

## **1 METODOLOGÍA**

El estudio es de tipo descriptivo y para ello se seleccionaron conjuntos habitacionales emblemáticos en cuanto a su conformación y atributos urbanos, describiéndose: localización, cantidad de habitantes, números de viviendas, accesibilidad, nodos de centralidad, nivel y calidad de infraestructura, servicios básicos y equipamiento. Para ello se realiza una investigación con información primaria y secundaria.

El estudio se orienta a realizar un balance del impacto de las políticas públicas de vivienda en la ciudad de Catamarca, con una caracterización de las acciones concretas sobre el territorio a través de barrios de diferentes características en su ejecución y momento de implantación, analizando sus atributos urbanos, su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes y en el paisaje urbano.

Se parte de la hipótesis de que las políticas públicas de vivienda profundizan los problemas urbanos, extendiendo aceleradamente la superficie urbanizada con un desmedido consumo de suelo y avance sobre suelo de uso productivo.

En Catamarca los proyectos públicos de vivienda social han generado crecimiento urbano extendido, consumo de suelo, fuerte disminución de la densidad, incrementos en los costos de transporte y distorsión en los precios de suelo.

<sup>3</sup>CONSUMO DE SUELO: indicador que sintetiza la relación del crecimiento de la superficie urbanizada en relación del incremento de la población en un periodo dado.

<sup>4</sup>Documentos de Trabajo GEDEUR: Micheli, Juan – Davis, Carina- Año 2009. - Ciudades intermedias: Desde un punto de vista cuantitativo, éstas constituyen, dentro de la jerarquía urbana, un “objeto geográfico no (adecuadamente) identificado” (Brunet, 2000), impreciso en su definición, incierto en términos de umbrales poblacionales y cuyo significado adquiere sentidos diferentes según las características del sistema urbano de que se trate. Son, por lo general, “los otros espacios urbanos” definidos frecuentemente “en negativo” al identificarlos como aquellos que no son ni grandes metrópolis ni pequeños pueblos (Bellet y Llop, 2004).

Se identifican así aquellas ciudades componentes del sistema urbano que por su articulación con su entorno rural y regional ocupan un rol estratégico de integración en el sistema urbano regional y nacional.

<sup>5</sup>ATLAS ID- OBSERVATORIO FEDERAL URBANO - Sistema de indicadores urbano territoriales- Subsecretaría de Planificación Territorial de la Inversión Pública- Datos registrados hasta año 2010.

De esta manera, para lograr identificar estos proyectos de política pública se realiza un recorte temporal estableciendo los periodos de mayores cambios en el proceso de urbanización de San Fernando del Valle, identificando que el periodo que va entre los años 1991-2011 fue el más significativo en cuanto a transformaciones físicas y estructurantes. La información primaria es obtenida de la propia experiencia laboral en la dirección ejecutiva del Plan Urbano Ambiental de la Municipalidad de la Ciudad Capital en el periodo 2003-2011.

La información secundaria es obtenida de estudios realizados sobre el crecimiento urbano local y de bibliografía de autores especializados en la temática, los datos estadísticos locales y en especial del material relevado, analizado y compilado en el “Programa Argentina Urbana del año 2011 y su actualización del año 2018”, en el atlas ID y el Observatorio federal urbano (OFU).

### Marco Conceptual

Para dar un marco teórico y conceptual se define a la vivienda como un elemento constitutivo de la ciudad, que por su acceso, localización y calidad es determinante en el funcionamiento de ésta. Todo ello considerando que la ciudad constituye un sistema abierto e interrelacionado, en el que cada uno de los factores que intervienen en el proceso de su formación, inciden y modifican todo el sistema. De esta manera se sigue el análisis sistémico de la ciudad, reconociendo la complejidad y la dinámica que tienen los procesos urbanos.

Para relevar datos sobre la problemática de hábitat y vivienda se toman referencias de estudios nacionales e internacionales.

La cuantificación y cualificación de la política de vivienda se desarrolla en el marco de análisis de los indicadores de Atlas ID<sup>7</sup> y del Observatorio Federal Urbano, considerando los análisis y estudios de la temática a nivel mundial y en particular de la Argentina que se presentan en el libro “Hacia una política integral del hábitat”.<sup>8</sup>

Para reconocer la segmentación social existente se realizó una aproximación al estudio de mapas sociales utilizando la bibliografía compilada y

analizada por Gustavo Buzai en su libro “Mapas sociales urbanos”. Además, se incorpora un estudio realizado por el Ing. Humberto Gallo de “Los precios del suelo urbano” en el marco del curso de Lincoln Institute, y un análisis presuntivo de la evolución de los precios de suelo a partir de la ejecución de la aplicación de los planes de viviendas. 2004-2016. Se incorpora este estudio a los fines de visibilizar las variaciones en el precio del suelo a partir del periodo de ejecución de las viviendas.

En el análisis de los Espacios públicos citaremos a Borja (2001)<sup>9</sup>, quien expresa: “La historia de la ciudad es la de su espacio público”. Este autor sostiene que “el espacio público es a un tiempo el espacio principal del urbanismo, de la cultura urbana y de la ciudadanía, es un espacio físico, simbólico y político”. Agrega que “al espacio público se le pide ni más ni menos que contribuya a proporcionar sentido a nuestra vida urbana”. La calidad, la multiplicación y la accesibilidad de los espacios públicos definirán en buena medida el progreso de la ciudadanía.

### Contexto de inserción

San Fernando del Valle es la capital de la provincia de Catamarca, localizada en la región noroeste de la República Argentina. Se encuentra ubicada en el punto cardinal latitud: 28° 28' 08,19" Sur y longitud: 65° 46' 44,68" Oeste, a 580 m.s.n.m. Es sede de la administración provincial, concentrando la mayoría de las actividades administrativas y de servicios.

La ciudad de San Fernando del Valle se encuentra en la región centro del territorio provincial e integra el subsistema de nodo central, definido por la microrregión del “Área del Gran Catamarca”, junto a los departamentos Valle Viejo y Fray Mamerto Esquiú.

<sup>7</sup>El proyecto del ATLAS ID surge como resultado de la profundización del proceso de planificación territorial puesto en marcha por la Subsecretaría de Planificación Territorial de la Inversión Pública en el año 2004.

<sup>8</sup>BARRETO, MIGUEL A. - Hacia una Política integral de Hábitat- ed. café de las ciudades- 2015

<sup>9</sup>JORDI BORJA- ZAIDA MUXI- El espacio público, ciudad y ciudadanía.- Diputación de Barcelona, 2001



entre 1974 y 2001 construye el 34% del parque habitacional nuevo en la provincia.

La actividad productiva en la provincia de Catamarca está vinculada principalmente a la actividad extractiva minera, agro productiva, con débil actividad industrial y con potencial desarrollo de productos turísticos.

Existe una importante dependencia económica, en cuanto a financiamiento de la coparticipación nacional, con lo cual la política estatal se encuentra sujeta a decisiones que impone la administración nacional.

La ciudad capital es sede de las principales actividades administrativas, comerciales y de servicios, teniendo como principal fuente laboral el empleo público. Según indican los relevamientos realizados recientemente, hay 142,8 empleados públicos por cada 1000 habitantes<sup>14</sup>, 62,8% de la tasa de empleo y 7,1% de tasa de desempleo de la población económicamente activa.<sup>15</sup>

En cuanto a los aspectos sociodemográficos, el área del Gran Catamarca concentra un total de 198.841 habitantes<sup>18</sup>. En el área urbana de la ciudad de San Fernando del Valle se localiza el 80 % de estos habitantes, lo cual significan un 74 % de la población urbana de la provincia.

Los datos sobre los aspectos sociales en cuanto al indicador de necesidades básicas insatisfechas (NBI) indican un promedio de 11,3% de población que se encuentra con déficit en su calidad de vida, implicando 3635 hogares. El Índice de desarrollo humano (IDH)<sup>17</sup> se toma como referencia el IDH a nivel nacional que es de 0,85, ya que no se encontraron mediciones a nivel provincial en este periodo. En el nivel provincial podemos mencionar el IDSP<sup>18</sup> cuyo valor es 0,537; que es un valor medio en relación con la escala de referencia.

Las estadísticas en cuanto a condiciones de tenencia de la vivienda arrojan que un alto porcentaje de hogares son propietarios de su vivienda y terreno.

En las condiciones de habitabilidad, según los

datos estadísticos de la provincia y en particular de la ciudad capital, se observa que el 13,1% de los hogares posee algún déficit cualitativo de la vivienda.<sup>19</sup>

Para evaluar las condiciones de la vivienda y el hacinamiento, se relevaron datos procesados como déficit cualitativo<sup>20</sup> y cuantitativo<sup>21</sup> de la vivienda, cuya fuente son las Encuestas Permanentes de Hogares. Los datos son procesados como sistemas de indicadores en el Atlas ID que administra la actual Subsecretaría de Planificación Territorial de la Inversión Pública.

<sup>14</sup>informe elaborado por la consultora E&R (Economía y Regiones)

<sup>15</sup>Censo nacional de 2010

<sup>16</sup>Censo nacional de 2010

<sup>17</sup>El IDH es una medida resumen del bienestar de la población en tres componentes básicos del desarrollo humano: una vida larga y saludable, acceso a educación, y un nivel de vida digno.

<sup>18</sup>PNUD- año 2016- IDSP- Índice de desarrollo sostenible Provincial- mide Crecimiento económico, inclusión social y sostenibilidad ambiental- la escala es de 0 a 1

<sup>19</sup>Datos INDEC- procesados por Atlas ID- Sistemas de Indicadores territoriales

<sup>20</sup>Muestra la situación de hogares que habitan en viviendas deficitarias; es decir, aquellas cuyas condiciones de estado y localización requieren reparaciones o se encuentran incompletas. Fórmula de cálculo: (Hogares en departamentos y casas tipo A sin agua de red ni red de cloacas + Hogares en departamentos y casas tipo A con hacinamiento crítico + Hogares en casas tipo B – menos Hogares en departamentos y casas tipo A sin agua de red ni red de cloacas y con hacinamiento crítico) / (Nº total de Hogares) \* (por) 100.

Resumen de la fórmula: (a + b + c -d) / e

<sup>21</sup>Hogares viviendo en viviendas irrecuperables. Se consideró a las viviendas irrecuperables como las siguientes: rancho, casilla, local no construido para habitación, en vivienda móvil, persona viviendo en la calle, y persona viviendo en una pieza en hotel familiar o en una pensión.

PROVINCIA	AGLOMERADO URBANO DE LA E.P.H	AÑO 2001			AÑO 2010		
		DÉFICIT HABITACIONAL CUALITATIVO	Nº DE HOGARES	% DE DÉFICIT HABITACIONAL	DÉFICIT HABITACIONAL CUALITATIVO	Nº DE HOGARES	% DE DÉFICIT HABITACIONAL
Catamarca	Gran Catamarca	7.645	40.218	19	6.660	50.901	13,1

**Tabla 1:** Condiciones de habitabilidad en hogares municipalidad de San Fernando del Valle de Catamarca- año 2010

Con estos registros censales podemos decir que Catamarca incrementó en un 21% la cantidad de hogares entre los años 2001-2010 y el déficit cualitativo disminuyó un 3%. Esto obedece a la importante cantidad de obra pública en vivienda y nexos de infraestructuras ejecutadas por el gobierno en este periodo, principalmente en obras de conexiones domiciliarias de cloacas, agua potable y construcción de viviendas nuevas que disminuyó la cantidad de hogares con hacinamiento crítico. En cuanto al déficit cuantitativo compuesto, se observa que se incrementó en casi un 3%, que implica viviendas irrecuperables, entre las que podemos incluir las viviendas de asentamientos precarios que no disponen de las condiciones mínimas de habitabilidad.

Según datos de las Auditorías de FONAVI, en Catamarca casi un 50% de los hogares ocupan viviendas en condiciones satisfactorias. De esos hogares un 75 % se localizan en la Ciudad capital. La construcción de vivienda financiada por el FO.NA.VI.<sup>22</sup>, y demás programas federales implementados durante los años 2003 a 2007, coordinada por organismos provinciales como la Secretaría de la Vivienda y el Instituto Provincial de la vivienda (IPV)<sup>23</sup>, ejecutadas a través de empresas privadas fue materializando la periferia de la Ciudad.

Periodo	crecimiento urbano km <sup>2</sup>	Incremento %	superficie área urbana km <sup>2</sup>
1960-1970	2,19	31,24	14,03
1970-1980	3,35	23,86	17,37
1980-1991	9,6	55,23	26,97
1991-2001	13,09	48,52	40,05
2001-2010	6,06	15,12	46,11

**Tabla 2:** Expansión de La Ciudad de SFV año 2010

### 3 RESULTADOS

El patrón de crecimiento por expansión y de baja densidad (una vivienda por lote) fue y es un resultado de la construcción de viviendas en todos los centros urbanos de la provincia, en mayor número en la capital, y la microrregión del área Gran Catamarca, lo que queda demostrado en los indicadores territoriales que se consignan en el ATLAS ID<sup>24</sup>.

El incremento de la superficie urbana entre los años 1991 a 2010 es de 147% y como contrapartida el importante descenso de la

<sup>21</sup>El Sistema Federal de la Vivienda, establecido en la Ley Nacional N° 24.464 de 1995, creó una institucionalidad federal permanente integrada por el FO.NA.VI., por los organismos ejecutores de las provincias y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (los cuales son responsables de la aplicación de la Ley en sus respectivas jurisdicciones) y por el Consejo Nacional de la Vivienda.

<sup>22</sup>IPV La provincia de Catamarca creó en 1955 el Instituto Provincial de la Vivienda (Ley N° 1670) con repartición centralizada, dependiente del Ministerio de

<sup>23</sup>Hacienda, Economía y Obras Públicas. Luego la Ley Nacional 21.581 de 1977, plantea que los organismos provinciales deben ser autárquicos y debe encararse a través de ellos la planificación y realización de programas de viviendas, se crean la mayoría de los organismos provinciales de vivienda de nuestro país. Más tarde, en 1984, se creó el IPV como organismo descentralizado y autárquico del Estado provincial a través de la sanción de la Ley N° 4084. Dicha normativa le asignó personería de carácter jurídica, individual, financiera y una finalidad eminentemente social

<sup>24</sup><https://atlasid.planificacion.gob.ar/> Base de datos disponibles en el portal de la Subsecretaría de Planificación de la Nación.

densidad poblacional en el orden del 40%. En este orden de análisis es también importante evaluar el “Consumo de suelo urbano registrado en el área del Gran Catamarca, el cual es de 242 m<sup>2</sup> por Habitante para el año 2010, con un incremento del 50% en relación al registrado en el año 1991.

Estos valores indican que se encuentra entre las ciudades que más se extendió en nuestro país, ocupando el 8° lugar entre todas las provincias argentinas, habilitando suelo urbano y superando al promedio estimado entre los aglomerados urbanos de escala intermedia del país.

La construcción de viviendas social “nuevas” urbanizando suelo periférico en la ciudad es un importante componente en la inversión pública provincial, con especial énfasis entre los años 2003 – 2013, en consecuente relación con las políticas nacionales que utilizan estos mecanismos de política pública con la visión de otorgar un “importante impulso a la obra pública como sustento de la reactivación económica, en este caso aportando al sector construcciones y la generación de empleo genuino”

Estos indicadores nos permiten expresar que en este periodo se concentran las mayores transformaciones urbanas, con énfasis en patrones de crecimiento extensivo de forma anodina y de fragmentación urbana y social, tal como lo

demuestran los registros de estudios e imágenes satelitales que se acompañan. Esta lógica de crecimiento es fácilmente identificable en muchas ciudades argentinas.

En estas imágenes se muestra el patrón de crecimiento predominante<sup>28</sup>; baja densidad, alta dispersión, discontinuidad en relación con la trama consolidada.

Los consumos de suelo nos muestran valores similares de consumo de metros cuadrado por habitantes, ratificando la dispersión producida en este periodo, donde la construcción de viviendas sociales tuvo gran responsabilidad, ya que se aplicó en las ciudades sin que las mismas puedan intervenir y/o definir las localizaciones de las viviendas, que en la mayoría de los casos no disponían o desconocían instrumentos que regulen la utilización de suelo urbano existente como loteo formal.

Las consecuencias inmediatas impactan en insuficiencia de prestación de servicios urbanos, colapso de infraestructuras, sistemas de transportes complicaciones en la movilidad, el desarrollo de las telecomunicaciones etc. A todo ello se suma la dificultad de que el desarrollo económico acompañe el crecimiento urbano existiendo una estrecha relación entre estas condiciones de urbanización, el empleo y la pobreza.

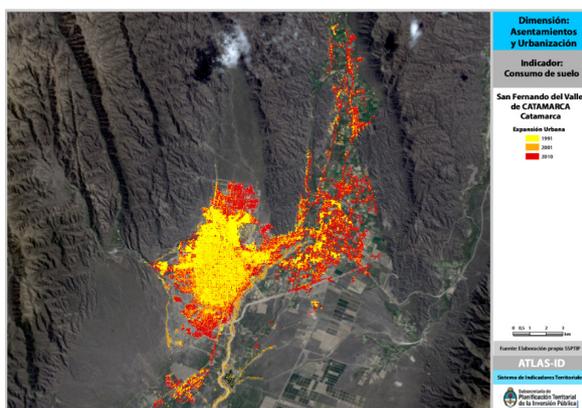


Figura 2: La Ciudad de SFV en 2010

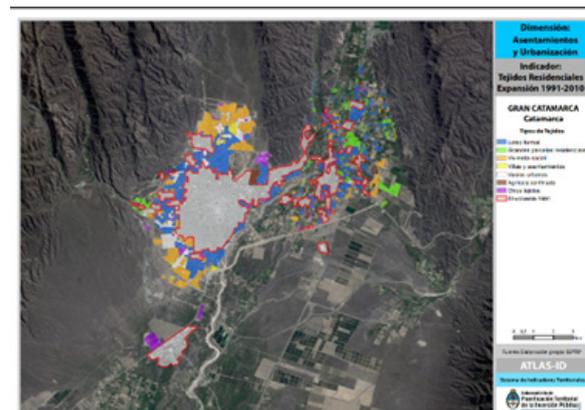


Figura 3: estudio de la dinámica de dispersión urbana mediante imagen satelital

<sup>25</sup>Relación entre la superficie urbanizada y la cantidad de población que la habita.

<sup>26</sup>Mapa de asentamientos en anexo cartográfico

<sup>27</sup>FERNANDEZ WAGNER, RAUL – Hacia una política integral de hábitat: aportes para un observatorio de política habitacional en Argentina / Miguel A. Barreto y Mercedes Lentini. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Café de las Ciudades, 2015.

<sup>28</sup>PROGRAMA ARGENTINA URBANA- 2018-

#### 4 CONCLUSIONES GENERALES

Si bien este trabajo tiene como unidad de análisis los conjuntos habitacionales construidos hasta el año 2010, en virtud de la continuidad de las políticas habitacionales como herramienta de dinamización de la economía local, resulta importante expresar que el proceso de extensión del área urbana continúa hasta el presente con importantes ocupaciones de áreas de reserva urbana y áreas de preservación permanente sobre laderas del cerro Ambato, expansiones del área urbana por parte del estado que urbaniza tierra y supera los límites establecidos por ordenanza<sup>29</sup> en especial sobre los sectores norte y oeste.

Según estudios realizados por CIPECC<sup>30</sup>, la mancha urbana de la Ciudad durante el periodo 2006-2016 se expandió a un ritmo de 3,2% anual, representando un “factor de crecimiento de 3x, lo que significa que por cada 1 punto porcentual de incremento poblacional la ciudad se expande 3 puntos.

La ciudad crece en forma extensiva, ocupando áreas de alta fragilidad ambiental. Este patrón de crecimiento físico de la ciudad es predominante en diferentes ciudades, en especial en ciudades intermedias.

Los diferentes sectores de la ciudad tienen altas dificultades de conexión, con lo cual se ve una fragmentación en el tejido urbano.

La baja densidad con la que se construye provoca extensiones insustentables para los servicios e infraestructura.

El Índice de Desarrollo sostenible provincial muestra un retraso significativo de la provincia de Catamarca en relación con la media nacional.

La aplicación de instrumentos normativos es casi nula y poco sostenible. Las implicancias de la aplicación de estas normativas junto con las existentes en materia de usos de suelo y de construcciones particulares están dando como resultado la construcción de una ciudad que se extiende aceleradamente hacia las zonas norte y sur, dejando importantes “vacíos urbanos”.

Existe un importante avance de la deforestación y avance de los límites de urbanización sobre áreas de reserva ecológica.

La disociación en la toma de decisiones entre los

niveles municipal y provincial en la localización de los conjuntos habitacionales se evidencia en las superposiciones o ausencias de equipamientos, servicios e infraestructuras

#### Reflexiones finales

Las ciudades argentinas presentan en los últimos 30 años un crecimiento del tejido urbano que se produce por extensión y habilitación de suelo urbanizado, con preocupantes porcentajes de consumo de suelo de baja densidad. Esta dinámica de urbanización, que se produce en momento del “impulso a las economías regionales” a partir de la implementación de políticas públicas de vivienda, es un situación recurrente en todo el territorio argentino<sup>31</sup>, y corresponde al “*patrón de expansión de baja densidad con alto consumo de suelo por habitante, con déficits en las condiciones ambientales de la ciudad y dificultades en la economía urbana en general, incrementando los costos de servicios, el colapso de infraestructuras, y en general el deterioro ambiental por pérdida de suelo natural y productivo.*”

Para el caso de Catamarca, la instrumentación de la política habitacional, en especial con el Plan Federal de 2003-2010, se produce por la incorporación de loteos nuevos para la construcción de viviendas en bloque y/o la generación de lotes con servicios por parte del estado provincial. La municipalidad tiene una escasa intervención, solo para dar luz verde en las “visaciones” de mensuras y loteos. Durante el periodo analizado se utilizó la reserva de “suelo urbanizable” hacia el sector norte y sur, llegando a los límites habilitados por ordenanza.

Actualmente, y desde el año 2013, la implementación de esta construcción de viviendas masivas tuvo su avance sobre área de preservación natural sobre las laderas oeste del cerro Ambato por parte de la provincia, y la municipalidad avanzó sobre el norte y sur avanzando sobre las reservas de “suelo urbanizable”, con un discutible crédito subsidiado para la adquisición de lotes por parte de particulares.

La tipología que más se construye es de una vivienda por lote y en general de una sola planta, lo que produce un alto consumo de suelo, activa la disminución de la densidad e incrementa la demanda por extensión se redes de servicios

<sup>31</sup>“Diagnóstico de las ciudades argentinas y la red urbana”- Programa Argentina Urbana- SPT y C de OP- año 2018

e infraestructura, ocasionando deseconomías urbanas.

Las localizaciones de estos conjuntos de viviendas, en la mayoría de los casos, son periféricos a las zonas urbanas más consolidadas, carentes de equipamientos comunitarios y escasos o nulos espacios de uso y utilidad pública, lo que ocasiona mayores desplazamientos, problemas para implementar transporte público, y ello implica mayor uso de la movilidad individual que se refleja en la cantidad de autos particulares y motos con un altísimo índice de accidentes viales.

El crecimiento por extensión del tejido urbano, impulsado por la demanda de lotes formales, posiciona al área del gran Catamarca con el más alto “porcentaje de expansión de tejido urbano” en relación a las otras provincias argentinas.

La obra pública que se ejecuta en los loteos nuevos va generando incremento en la “renta del suelo”<sup>32</sup>, dotándolo de servicios urbanos que incrementan el precio, beneficiando en particular a la tierra vacante que va dejando la urbanización. Actualmente los lotes más accesibles económicamente son los ubicados en la zona norte y en la zona sur y loteos generados en los departamentos vecinos. Esas migraciones a su vez generan externalidades e impactos negativos en los municipios de Valle Viejo y Fray Mamerto Esquiú, que no disponen de los instrumentos urbanísticos para regular creación de suelo urbano y donde existen importantes superficies cultivables.

La ciudad se extiende así, sin regulación ni análisis que implique considerar la efectiva disponibilidad de umbrales mínimos de servicios, infraestructura y equipamiento, dejando importantes cantidades de lotes vacíos rodeados de conjuntos habitacionales y favorecidos por la extensión de las redes de servicios. Esta situación se verifica en el análisis de los barrios realizado en este trabajo. En un caso: un barrio histórico, como el “Juan Manuel de Rosas”, situado en un área cercana al centro de la ciudad, pero con carencias en sus atributos de urbanización, y el otro, Barrio Manuel de Salazar como sector “nuevo” (5 km del centro), con similares déficits. Es evidente el inconveniente de atender en forma eficiente las necesidades de la ciudad en la dispersión urbana actual y con los

recursos municipales existentes.

La ausencia<sup>33</sup> de evaluación de impacto de la localización de la vivienda social, genera inconvenientes en el funcionamiento de la ciudad y sobre la economía urbana con altos costos en servicios e infraestructura y movilidad que afectan la calidad de vida de la gente.

Es importante resaltar la poca o nula intervención de los equipos municipales en la toma de decisión respecto a la localización de los barrios. Los niveles provinciales, que administran la política de vivienda y los equipamientos urbanos (en especial salud y educación), tienen intervenciones en el territorio de modo sectorial sin interactuar con áreas de planificación municipal. Sin embargo existen numerosos estudios sobre el territorio, tanto de alcance urbano como regional y provincial, y recursos humanos capacitados en desarrollo social, en planificación y diseño urbano que componen los diferentes equipos técnicos provinciales, municipales y de la Universidad Nacional de Catamarca. Asimismo, se dispone de un vasto compendio de normas urbanas que deben ser actualizadas conforme a la dinámica de producción de la ciudad, pero sobre todo tenidas en cuenta al momento de la definición de los diferentes usos de suelo en especial de la vivienda social.

La ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca se enfrenta a un desafío importante frente al escenario territorial donde se localiza, con importantes oportunidades desde lo ambiental. Sin embargo, la macro localización presenta restricciones debido al posicionamiento geográfico alejado de los principales ejes de desarrollo del país, con lo cual deberá definir estrategias para acortar las distancias físicas que la separan de los centros de mayor desarrollo. (Existen trabajos de expertos locales en el tema).

*Es necesario la priorización de temas como:*

-la puesta en valor de los espacios públicos y espacios verdes que posicione hitos en la trama urbana, que promueva la participación vecinal, la identidad barrial, el fortalecimiento de nodos con instituciones, comercios y servicios de salud y educación a escala barrial que disminuya los

<sup>32</sup>JARAMILLO, S. “Los fundamentos económicos de la participación en plusvalías”- Universidad de Los Andes y el Lincoln Institute of Land Policy, 2003

<sup>33</sup>MYRIAM GOMEZ ASTUDILLO- Tesis de Maestría en Gestión y Desarrollo Habitacional- FAU- UNC- 2019

desplazamientos.

-La estructuración de un transporte público de pasajeros en base a corredores principales y secundarios, que permita recorridos eficientes en tiempo y cobertura, permitiendo el acceso y desplazamiento de todas las personas hacia sus lugares de trabajo y demás equipamientos urbanos, en orden a disminuir el uso del automóvil particular y los conflictos de tránsito.

-Promover la construcción de vivienda social en lotes urbanos vacíos y así promover la mixtura social, ya que existe una marcada segmentación del norte y sur, versus el oeste y/o algunos sectores del este que se refleja en los precios del suelo.

-El reordenamiento y creación de nuevas parcelas en lugares centrales, que permitan actuar en el mercado inmobiliario para regular el precio del suelo en los sectores ya urbanizados. Esto puede lograrse a partir de relocalizar actividades municipales y de servicios en conflicto como los talleres municipales en Av. Acosta Villafañe, la terminal de colectivos en Av. Güemes, la Estación transformadora de Energía en barrio 9 de julio. Además de actividades comerciales como depósitos y supermercados que pueden utilizar espacios periféricos y/o sobre avenidas con mayores posibilidades de transferencia de carga.

La escala urbana de San Fernando del Valle es muy asequible y el déficit de vivienda es abordable. Existe disponibilidad de suelo urbano vacante y stock de viviendas mejorables y otras vacías. Es preciso definir estrategias de desarrollo en el corto y mediano plazo y base de datos de demanda única. La definición de instrumentos de gestión urbana adecuados permitirá la sutura urbana de los diferentes fragmentos producidos a partir de la aparición de los "barrios estatales", con escalas de densificación aceptable por los ciudadanos y acorde al entorno físico, atendiendo a las condiciones económicas de toda la ciudad.

Se identifican algunas iniciativas que se orientan a impulsar la adquisición de lotes urbanizados, como el programa "MI TERRENO"<sup>33</sup>, y/o financiamiento para la adquisición de materiales de construcción. Lo que resulta necesario es la complementación con ordenanzas y/o normativas para impulsar a los propietarios de lotes vacantes

o viviendas deshabitadas y ponerlas a disposición de los demandantes de viviendas. Es importante intervenir con políticas activas de hábitat en el mercado inmobiliario que, hasta el momento, es el que regula la producción de la ciudad.

La situación analizada para la ciudad capital se repite en las ciudades más pequeñas del territorio provincial, para lo cual es imprescindible que la provincia trabaje sobre un marco legal que oriente a los municipios, en especial a los más pequeños, respecto a cómo mejorar sus condiciones urbanas y orientar la política de vivienda con un objetivo de construcción de hábitat digno y ambientalmente sustentable.

La implementación de herramientas de software con entorno SIG como el programa de "Identificación de Datos Espaciales de Catamarca" (IDECAT) permitirá disponer de datos relacionados de disponibilidad de tierras vacantes, servicios, infraestructura, déficit cualitativo y cuantitativo de vivienda.

En síntesis, si bien Catamarca tiene una transformación más tardía que otras ciudades, es impostergable establecer agendas de discusión y definición de temas estratégicos y estructurantes para mejorar el área urbana y su territorio rural. El sector público debe convocar a los ciudadanos organizados y representantes del sector privado, en especial a los vinculados a la construcción de viviendas, empresas constructoras y comercios, y a los sectores sociales organizados, centros vecinales, gremios, u otro tipo de organización.

Disponer de herramientas e instrumentos de ordenamiento territorial, como un plan de usos de suelos y otros planes y proyectos concertados en la ciudad, significa una oportunidad frente a los escenarios actuales, donde el avance de la urbanización y el incremento de la población en las ciudades es una característica de este siglo, en particular en nuestro país ya que el 92% de la población se encuentra en áreas urbanas, con lo cual resulta urgente y necesario abordar los problemas identificados y promover un desarrollo urbano sostenible, en la ciudad y en su territorio de inserción.

## 5 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado sobre la base de la experiencia empírica y experimental desarrollada

<sup>33</sup>PROGRAMA "MI TERRENO"- 1290 lotes financiados por la "Caja de Crédito Municipal. La infraestructura la realiza la municipalidad. Ver anuncio periodístico en anexos.

durante mi ejercicio profesional en áreas de planificación territorial, tanto a nivel provincial como municipal. En especial durante mi gestión a cargo de la Dirección Ejecutiva del Plan Urbano Ambiental durante los años 2003-2011, en la Municipalidad de San Fernando del valle de Catamarca.

Es necesario reconocer y agradecer el constante apoyo de mi esposo e hija, sin los cuales este trabajo no hubiera sido posible realizar.

También de profesores que apostaron a mi desarrollo profesional, en particular el Arq. Marcelo Corti, que me acompañó como director y asesor de tesis; a la profesora Arq. Marilu Foglia, quien me transmitió esta profesión con pasión y dedicación, el Arq. Mario Forne, que me incentivo a finalizar el estudio, a la Arq. Ana Falú directora de la maestría y muchos profesores que aportan a mi formación en este largo y permanente camino de posgrado.

A muchas personas que compartieron los espacios de trabajo y que han marcado en mi la huella de la planificación y la mirada estratégica sobre el territorio.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- ASCHER, F.-. Año 2004-Versión española de HERNANDEZ DIAZ, MARIA- *Los nuevos principios del urbanismo- El fin de las Ciudades no está a la orden del día*- - Madrid, España- Editorial Alianza editorial, S.A
- BARRETO, M. - AÑO 2015- “Hacia una política integral de hábitat: aporte para un observatorio de política habitacional en Argentina” Editorial: Café de las Ciudades.
- BASUALDO, J. - Año 2005 *La gestión urbana de pequeñas ciudades*- Editorial Lincoln Institute of Landpolicy. -
- BAZANT S, J. – Año 1988- “Manual de criterios de diseño urbano”- 4 ed- México- Ed. Trillas
- BUZAI, GUSTAVO D.- .año 2003- “Mapas sociales urbanos”- 1º ed- Buenos Aires- Lugar editorial S.A
- CORTI, M. – AÑO 2015 – “La Ciudad Posible”- Editorial: “Café de las Ciudades”
- CUENYA, B.- FALU, A.- compiladoras- Año 1997 - *Reestructuración del estado y política de vivienda en la argentina*- Buenos Aires- Argentina- Editorial: oficina de publicaciones del CBC- Universidad Nacional de Buenos Aires
- FERNANDEZ GUEL, JOSE MIGUEL- AÑO 1997- *Planificación Estratégica de ciudades*- editorial Gili-Barceló
- FERNANDEZ WAGNER, R. –Año 2008- *Democracia y Ciudad: procesos y políticas urbanas en las ciudades argentinas: 1993-2008*- - Buenos Aires, Argentina- Editorial: Los polvorines- Universidad Gral. Sarmiento; Buenos Aires, Biblioteca Nacional
- FOGLIA, M.E.- Año 1998- Reflexiones sobre los procesos históricos de ocupación del territorio. Teorías y modelos- - Córdoba, Argentina- Editorial Facultad de arquitectura, urbanismo y diseño- Universidad nacional de Córdoba
- FOGLIA, M. E- .Año 2003 - Bases para el Plan Urbano Ambiental de la Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca – Municipalidad de San Fernando del Valle de Catamarca
- GRANERO REALINI, G & BARREDA, M & BERCOVICH, F.- La política habitacional en Argentina. Una mirada a través de los institutos provinciales de vivienda- CIPPEC- Documento de trabajo n° 181 mayo de 2019-
- JARAMILLO, S. – Año 2003- “Los fundamentos económicos de la “participación en plusvalías”- Universidad de los Andes y Lincoln Institute of Land Policy
- LYNCH, K. Año 1970- La imagen de la Ciudad- Buenos Aires- Ediciones Infinito
- MORALES SCHECHINGER, CARLOS Año 2005-. *Notas sobre la regulación del mercado de suelo y sus instrumentos*- Editorial Lincoln Institute of Landpolicy.
- PÉREZ, C. & VIGO, M. - Año 2007- Las políticas de vivienda en Catamarca / Argentina y su efecto en los problemas sociales - Periódico de Trabajo Social y Ciencias Sociales Edición digital - Edición

- N° 45
- PNUD- Año 2016- IDSP- Índice de desarrollo sostenible Provincial- mide Crecimiento económico, inclusión social y sostenibilidad ambiental-
  - PALACIOS, R.- Año 2003- Planificación ambiental y paisajística del ecosistema Dique El Jumeal.
  - REESE, EDUARDO. - *Instrumentos de gestión urbana, fortalecimiento del rol del municipio y desarrollo de equidad* Año 2003- - Lima, Perú. Editorial Lincoln Institute of Landpolicy.
  - RODRIGUEZ, A & SUGRANTES, A.- Año 2005- Los con techo, Un desafío para la vivienda social - - Santiago de Chile- Ediciones SUR
  - RODRIGUEZ, ELBA – “Estudio de estándares de equipamiento” SEDUV 1979
  - SUBSECRETARIA DE PLANIFICACION FEDERAL DE LA INVERSION PÚBLICA Y SERVICIOS - Plan Estratégico Territorial Avance II: Planificación Estratégica Territorial. 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, 2011. v. 1, 108 p.: il.; 31x24 cm.
  - VIGO, M.– AÑO 2002 “Desarrollo urbano sustentable: un objetivo alcanzable por la gestión local- caso Catamarca
  - YUJNOVSKY, O.- Año 1984- *Claves políticas del problema habitacional argentino 1955-1981- Buenos Aires, Argentina- Editorial: Grupo Editor Latinoamericano*
  - BASUALDO, J- Año 2006- “Vivienda social y suelo urbano” [http://www.cafedelasciudades.com.ar/politica\\_52\\_1.htm](http://www.cafedelasciudades.com.ar/politica_52_1.htm) -
  - PLANOS CATASTRALES- <https://catastro.catamarcaciudad.gob.ar/gismunicipal>
  - AUDITORIAS FONAVI <http://www.vivienda.gob.ar/docestadisticas.php>
  - ATLAS ID: SUBSECRETARIA DE PLANIFICACION TERRITORIAL DE LA INVERSION PUBLICA <http://atlasid.planificacion.gob.ar/>
  - OBSERVATORIO URBANO FEDERAL <https://ofu.mininterior.gob.ar/OFU>
  - [http://cite.flacsoandes.edu.ec/media/2016/02/Michelini\\_J\\_et\\_al\\_2009\\_Ciudades\\_intermedias\\_y\\_desarrollo\\_territorial\\_un\\_analisis\\_exploratorio\\_del\\_caso\\_argentino1-1.pdf](http://cite.flacsoandes.edu.ec/media/2016/02/Michelini_J_et_al_2009_Ciudades_intermedias_y_desarrollo_territorial_un_analisis_exploratorio_del_caso_argentino1-1.pdf)
  - <http://www.ar.undp.org/content/argentina/es/home/presscenter/articles/2017/05/12/c-mo-est-n-la-argentina-y-las-provincias-en-los-rankings-de-desarrollo.html>
  - Ley 8912/77 “Ordenamiento Territorial de la provincia de Buenos Aires”.

# PROCESOS GEOQUÍMICOS QUE CONTROLAN LA DINÁMICA DEL ARSÉNICO EN PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

*Eugenia Nancy Nieva*

1: Centro Regional de Energía y Ambiente para el Desarrollo Sustentable (CREAS-CONICET).

2: Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas -UNCA.

## COMPREHENSIVE MODEL FOR EVALUATING THE QUALITY OF WEB CONTENT ACCESSIBILITY

**RESUMEN:** La Mina Concordia es un pasivo ambiental ubicado en Salta. Este yacimiento ha dejado los residuos expuestos a la meteorización generando un drenaje ácido. Por su gran toxicidad y movilidad, el arsénico (As) representa un contaminante peligroso.

El objetivo es caracterizar los procesos geoquímicos que determinan la liberación de As al agua. Para alcanzar el mismo, se usó técnicas convencionales y luz sincrotrón.

Las fases asociadas al As, son As-jarrosita, arseniatos de Fe(III) amorfos, y arseniatos adsorbidos/coprecipitados en schwertmannita. El proceso de transformación se inicia con la oxidación de la arsenopirita que al acidificar el medio y liberar sulfatos, permiten la formación de jarrosita. La misma, en su etapa de formación retendría As por sustitución y luego por adsorción. Cuando la cantidad de As sustituido es alto, la estructura se deforma dando lugar a un arseniato de Fe(III) amorfo.

Debido a un ligero incremento en el pH y sulfatos, se forma schwertmannita. El arseniato presente en la solución puede adsorberse. Las fases de arseniato amorfos que cobren la superficie de ambos minerales constituyeron las fases más lábiles.

La calidad del agua es una consecuencia directa de la disolución de estas fases y las concentraciones de As representan un riesgo potencial.

**Palabras Claves:** Mina Concordia, Drenaje ácido de minas, Arsénico.

**ABSTRACT:** The Concordia Mine is an environmental liability located in Salta. This deposit has left the waste exposed to weathering, generating acid drainage. Due to its high toxicity and mobility, arsenic (As) represents a dangerous contaminant.

The objective is to characterize the geochemical processes that determine the release of As into water. To achieve this, conventional techniques and synchrotron light were used.

The phases associated with As are As-jarosite, amorphous Fe(III) arsenates, and adsorbed/coprecipitated arsenates in schwertmannite. The transformation process begins with the oxidation of arsenopyrite, which by acidifying the medium and releasing sulfates, allows the formation of jarosite. In its formation stage, the latter would retain As by substitution and then by adsorption. When the amount of substituted As is high, the structure deforms, giving rise to amorphous Fe(III) arsenate.

Due to a slight increase in pH and sulphates, schwertmannite is formed. The arsenate present in the solution can be adsorbed. The amorphous arsenate phases covering the surface of both minerals constituted the most labile phases.

Water quality is a direct consequence of the dissolution of these phases and As concentrations represent a potential risk.

**KEYWORDS:** Concordia Mine, Acid mine drainage, Arsenic.

## INTRODUCCIÓN

Desde la colonización española en el siglo XVI, la explotación de minerales metalíferos constituye una actividad económicamente relevante en Latinoamérica, con un desarrollo discontinuo en Argentina. En el siglo XX, en el noroeste de Argentina se desarrollaron varios proyectos mineros, algunos de los cuales se mantienen en actividad (ej.: minas Pirquitas y Aguilar, Jujuy),

mientras que otros cesaron su producción a mediados de la década del 80, dejando abandonadas las labores e instalaciones y expuestos a la meteorización las escombreras y diques de colas. Estos yacimientos constituyen hoy en día, pasivos ambientales mineros que impactan negativamente en la calidad de las aguas, de los suelos y del aire de los ecosistemas que los contienen. Tal es el caso, entre otras, de la Mina Concordia en la

provincia de Salta.

Cuando los desechos mineros sulfurosos se exponen a los agentes de meteorización y a la acción de los microorganismos, se genera un drenaje altamente ácido, rico en metales (oides) disueltos y sulfatos como lo muestra Jamieson [1]; Lottermoser [2]; Nordstrom y Alpers [3]. El proceso principal implica la oxidación del sulfuro original y la posterior precipitación de minerales secundarios como sulfatos, hidroxisulfatos, óxidos y arseniatos. Durante dicho proceso, se liberan al agua concentraciones elevadas de elementos potencialmente tóxicos que luego se incorporan a un ciclo que incluye la precipitación/disolución de sales eflorescentes, así como la adsorción/desorción de (hidr)óxido de Fe o Al [2].

El arsénico (As) liberado por la oxidación de la arsenopirita es uno de los contaminantes más peligrosos asociados al drenaje ácido de minas (DAM) porque es altamente móvil en un amplio rango de pH. Por lo tanto, el As puede transportarse a largas distancias en solución, en forma de las especies As(V) y As(III), dependiendo de las condiciones redox del agua. Los compuestos de arseniato son generalmente menos móviles y menos tóxicos que el arsenito [4].

En regiones áridas afectadas por el drenaje ácido, el As puede coprecipitar como impureza junto con una amplia variedad de minerales secundarios, como schwertmannita y jarosita [3], [5], así como arseniatos metálicos y sulfoarsenatos [6]. La coprecipitación se refiere a la formación de una fase mineral en la que el As precipita como un compuesto estequiométrico como la escorodita ( $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), como una fase mal ordenada de composición variable como la pitticita ( $\text{Fe}^{\text{III}}\text{SO}_4\text{As}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), o como impureza de solución sólida en algunas otras especies minerales [7].

Por tanto, la liberación de As de estas fases depende en gran medida de la solubilidad del compuesto. En las condiciones altamente ácidas que predominan en estos sistemas, la desorción de los (hidr)óxidos de Fe es casi insignificante. Los minerales secundarios que son más susceptibles a la disolución son los sulfatos metálicos hidratados simples, mientras que los hidroxisulfatos de Fe o Al son relativamente insolubles [2]. Los arseniatos de Fe, a su vez, son más insolubles que los hidroxisulfatos de Fe o Al en ambientes ácidos [8]. Las fases secundarias pueden precipitar

como productos amorfos, poco cristalinos o bien cristalizados, cementando e incrustando partículas de los residuos mineros en una escala lateralmente extensa o discontinua [9]. Estas fases pueden actuar como sumideros de contaminantes, ya que los retienen por adsorción o coprecipitación, procesos que son particularmente importantes en regiones con tasas elevadas de evaporación. Sin embargo, en regiones áridas, esta función puede estar limitada porque algunas de estas sales son altamente solubles y, por lo tanto, se disuelven rápidamente durante lluvias ocasionales, liberando metales y metaloides que pueden transportarse a los arroyos como especies iónicas en solución. La relevancia ambiental del efecto de descarga en los sistemas DAM está bien documentada [3]. Según Frau [10], cuanto más largo sea el período seco, más intenso será el impacto ambiental durante el período húmedo posterior.

## SITIO DE ESTUDIO

La mina Concordia ( $24^{\circ}12'S$  y  $66^{\circ}24'O$ ) se encuentra ubicada en el departamento Los Andes, a 15 km al NO de la localidad de San Antonio de los Cobres, y a 185 km al ONO de la ciudad de Salta (Figura 1). El sitio se ubica a una altitud de 4200 m s.n.m.

Las condiciones climáticas son extremas debido a la altitud. El clima es semiárido; las amplias variaciones diarias de temperatura y las precipitaciones concentradas en una estación son características típicas.

La precipitación media anual es de 200 mm y se produce entre noviembre y febrero (finales de primavera y verano del hemisferio sur). La temperatura media anual en la zona es de  $8,7^{\circ}\text{C}$ , pero durante el verano se pueden registrar temperaturas de hasta  $40^{\circ}\text{C}$ , mientras que en invierno son frecuentes las temperaturas nocturnas de unos  $-25^{\circ}\text{C}$ .

La Mina Concordia extrajo Pb, Ag y Zn hasta 1986 cuando se cerró. Las reservas se estimaron en 40.000 t, con leyes que promediaron 5,6% Pb, 491 g/t Ag, 1,26% Zn y 0,6% Cu [11]. La mineralización está genéticamente vinculada al domo de Dacita Concordia y se presenta en vetas verticales emplazadas principalmente en los conglomerados del Subgrupo Pirgua [11].

La paragénesis está representada principalmente

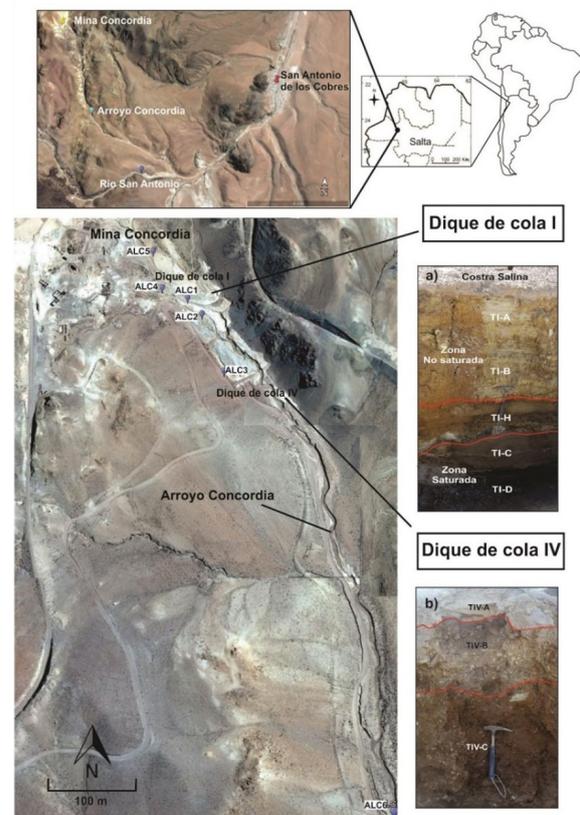
por tetraedrita ((Cu, Ag)<sub>3</sub> SbS<sub>3</sub>), galena (PbS), esfalerita (ZnS), pirita (FeS<sub>2</sub>) y calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>). También se observa bournonita (PbCuSbS<sub>3</sub>), arsenopirita (FeAsS), pirargirita (Ag<sub>3</sub>SbS<sub>3</sub>) y jamesonita (Pb<sub>4</sub>FeSb<sub>6</sub>S<sub>14</sub>) como accesorios. Los minerales de origen supergénico son melanterita, yeso, cerusita, covelina, anglesita [11], [12]; estos minerales corresponden a la mineralogía primaria según la clasificación de Jambor [13].

Durante las actividades mineras, el depósito de desechos estuvo conformado por cuatro diques de cola (TI, TII, TIII y TIV) que cubrían un área de 8814 m<sup>2</sup>, y que fueron construidas como una serie de terraplenes a lo largo del valle angosto del arroyo Concordia. No se colocó ningún revestimiento basal debajo de los diques y quedaron descubiertas después del cierre de la planta en 1986. Los sedimentos acumulados en los diques de cola se vieron afectados por la evaporación y la erosión durante más de 30 años, lo que llevó a la formación en profundidad de capas que pueden ser diferenciados según criterios de textura y color. En un trabajo anterior, Kirschbaum et al. [14] describieron las características estratigráficas de estos perfiles. Según estos autores, consisten en una sucesión irregular de capas arenosas y arcillosas, donde las capas superiores muestran más evidencias de oxidación mientras que los sedimentos del fondo generalmente se encuentran inalterados y saturados de agua. Los depósitos de ocre, incluidas las costras duras (de 5 a 10 cm de espesor), generalmente se observan llenando fisuras en las rocas de la pared y en la superficie de los diques, actuando como una barrera que evita la oxidación rápida.

Los signos de DAM se observan claramente en el arroyo Concordia (Figura 1), un arroyo de 14 km de largo cuyas cabeceras se encuentran en los túneles de la mina.

El arroyo desemboca en el río San Antonio, principal suministro de agua del pueblo de San Antonio de los Cobres (~6100 habitantes). Durante la estación seca (es decir, el invierno austral), el arroyo se infiltra completamente unos 5 km aguas abajo de los diques y aflora unos 3 km aguas arriba de su descarga en el río San Antonio. Este lugar es conocido como Baños de Pompeya, y corresponde a un sistema geotérmico descrito por Pesce y Miranda [19]. Una caracterización química previa

del agua del arroyo cerca de la mina reveló la presencia de aguas altamente ácidas (pH 3) con concentraciones elevadas de As, B, Cd, Mn, Pb y Zn [14].



**Figura 1.** Mapa de la mina Concordia que muestra la ubicación de los puntos de muestreo de agua y los diques de cola.

## METODOLOGÍA

### Composición química

La composición química de los sedimentos que conforman el dique de cola se determinó mediante ICP/OES. La disgregación de las muestras se realizó por digestión ácida. Brevemente, se pesó una fracción de 0,25g de muestra que se disolvió en una mezcla de HNO<sub>3</sub> – HClO<sub>4</sub> – HF a temperatura elevada. Una vez disuelta, la muestra se secó y se redisolvió en HNO<sub>3</sub> antes de realizar la lectura de las concentraciones. Los resultados fueron validados por medio de mediciones de patrones de referencia OREAS25A-4A y OREAS45E realizadas junto con las muestras. Estas determinaciones se realizaron en los laboratorios de la empresa AcmeLab, en Canadá.

La concentración de aniones (Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) en muestras de agua se determinó por cromatografía iónica (Thermo Scientific Constametric 3500), mientras que los cationes se midieron por ICP-MS (Agilent modelo 7500cx). Se utilizó en todas las soluciones y diluciones agua desionizada (18 MΩcm- 1MilliQ, Millipore Corp.). Para todas las determinaciones analíticas realizadas por ICP-MS, las correspondientes curvas de calibración se realizaron antes de la lectura de cada muestra. Luego de una serie de 8-10 muestras, se verificó el blanco y algunos puntos de la curva de calibración. Los patrones utilizados cubren el intervalo de concentración de las muestras y se prepararon con HNO<sub>3</sub> ultra puro al 2%. Los blancos fueron analizados para la corrección del efecto de fondo sobre la respuesta del instrumento. Las concentraciones de los cationes en solución se calcularon empleando el software ChemStation. Los límites de detección se calcularon en tres desviaciones estándares del promedio de 10 repeticiones de las soluciones blanco. Los análisis químicos de las muestras de agua se realizaron en el Laboratorio de Geoquímica del Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA).

#### *Determinaciones mineralógicas*

Se utilizó Difracción de Rayos X (DRX) para identificar los minerales más abundantes en las muestras <63 μm. Por microscopía electrónica de barrido (en inglés, SEM) asociada a Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS) y mapas de rayos X, se analizó la composición química semicuantitativa de los granos individuales presentes en las ejemplares estudiados. La DRX se realizó con un difractómetro PANalyticalX'Pert Pro operando a 40 kV y 40 mA usando radiación Kα de Cu. Se obtuvieron datos de difracción de rayos X para muestras aleatorias en el rango de 2θ de 5 a 70° (tamaño de paso: 0,02; 3 s/paso) con un límite de detección de 1%. La identificación de fases y el análisis cuantitativo Rietveld se realizó utilizando el software X'Pert Plus v3.0 de puntuación alta por PANalytical.

El análisis SEM/EDS se realizó con un microscopio electrónico de barrido (Carl Zeiss Sigma FE-). El montaje de las muestras se efectuó desagregando el material en un mortero y posteriormente

mezclándolo con resina y endurecedor EPOFIX. Las muestras se dejaron a presión dentro de una prensa durante aproximadamente 12 h antes de ser impregnadas con la resina Araldita. La mezcla resultante se secó en un horno a 50°C por 4 h. Una vez lista, la muestra fue pulida y revestida con carbono antes de ser analizada. El límite de detección del análisis EDS fue de alrededor 0,1% para el arsénico; la resolución espacial fue de aproximadamente 1 μm.

#### *Extracciones secuenciales*

Las extracciones secuenciales se usan para estimar la asociación de los elementos químicos con distintas fracciones minerales del sedimento. El procedimiento de extracción secuencial propuesto por Dold [15] fue diseñado específicamente para el estudio de la asociación de metales con distintas fases minerales en residuos mineros. Es por ello que este método se adaptó para identificar la asociación del As y otros metales con las siguientes fases: 1) soluble en agua; 2) elementos débilmente adsorbidos; 3) elementos fuertemente adsorbidos; 4) (oxi)hidróxidos de Fe (III) amorfos (es decir, ferrihidrita, schwertmannita, etc.); 5) óxidos de Fe (III) cristalinos (goethita, hematita, jarosita, etc.); 6) sulfuros primarios. Estas determinaciones se realizaron en el laboratorio del CICTERRA (LABGEOQUIMICA). La fracción residual en los elementos se calculó como:

[elemento; ej. As] total - Σ [elemento; ej. As] de los pasos 1-6. = [elemento; ej. As]residual

Los pasos 2 y 3 fueron propuestos por Keon et al. [16] para identificar las fracciones de As débilmente y fuertemente adsorbidas.

#### *Análisis por Espectroscopia de Absorción de Rayos X (XAS)*

Las determinaciones XAS de los distintos niveles identificados en el dique, así como de compuestos de referencia de As y Fe se realizaron en la línea de luz XAFS2, en el Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón (LNLS, Campinas, Brasil). La línea de luz está equipada con un monocromador consistente en un doble cristal de Si (111), mientras que el anillo de almacenamiento de electrones opera a 1,37 GeV con un rango de corriente de aproximadamente 110-300 mA.

Los espectros XAS en el borde K del As (11867

Muestras	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	Ti	P	S	Cu	Pb	Zn	As	$\frac{As_i}{As_0}$
	%									mg Kg <sup>-1</sup>				
TI-A	0.059	2.61	0.80	0.38	5.16	2.68	0.212	0.049	2.70	3405	5324	2826	1657	0.95
TI-B	0.060	3.46	0.94	0.46	6.92	3.85	0.230	0.048	5.10	3073	>10000	3774	2119	1.21
TI-H	0.063	2.74	1.04	0.42	5.98	4.90	0.178	0.076	5.80	4004	9619	4859	3101	1.77
TI-C	0.060	3.46	0.45	0.32	4.62	2.02	0.227	0.030	1.60	758	6032	1522	898	0.51
TI-D	0.053	3.50	0.22	0.41	5.57	3.15	0.245	0.043	3.10	1599	9980	3134	1752	1.00

**Tabla 1:** Composición química del dique de cola. nd: no determinado; bdl: por debajo del límite de detección.

eV) se recolectaron desde 11740 a 12700 eV, a temperatura ambiente ( $20 \pm 1$  ° C) en modo de transmisión para los compuestos de As tomados como referencia y las muestras. El tamaño del paso del monocromador fue 2,0-5,0 eV por paso. Se utilizó como referencia para la calibración de la energía una lámina de oro metálico, cuyo primer punto de inflexión del borde L3-Au se encuentra a 11911 eV.

Los espectros XAS de borde K del Fe (7112 eV) se recogieron en el rango de energía entre 6990 y 8100. El tamaño del paso del monocromador fue de 5,0 eV por paso y se ha reducido a 0,3 eV por paso entre 7105 y 7200 eV. Para estas medidas, la energía se calibró usando un estándar de lámina metálica de hierro con energía de borde a 7112 eV. Los espectros se analizaron utilizando el software Athena y Artemis basado en el paquete informático IFEFFIT [17] y siguiendo las recomendaciones de la Sociedad Internacional XAS [18].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Descripción litológica de los perfiles

Este estudio se realizó sobre muestras recolectadas en los diques de cola I debido a que los diques II, III y IV presentan características muy similares a las del dique I.

El perfil de meteorización del dique de cola (Figura 1 a), consiste en una sucesión de ~ 200 cm de profundidad de capas arcillo-limosas y arenosas, que se han dividido en cinco niveles (TI-A, B, H, C, D), en donde se aprecia una zona inferior saturada, y una superior no saturada, con claros signos de oxidación. El nivel más superficial de 60 cm de espesor (TI-A) es de color

amarillento y, consiste en arenas muy finas y limos que se superponen a un nivel de 20 cm de un limo arcilloso marrón amarillento, (TI-B). También se reconoció una capa lateralmente discontinua (TI-H) en la base del TI-B, que está conformada por sedimentos arcillo-limosos de ~10 cm de color blanquecino a marrón amarillento. Debajo de TI-H, el nivel TI-C consiste en limos arcillosos laminados de color marrón tenue, que no estaban saturados en el momento del muestreo, pero que mostraron signos de hidromorfismo sugiriendo condiciones de anegamiento periódico, como la presencia de mateados. El nivel más profundo (TI-D) corresponde a una secuencia maciza de arcilla y limos finos, de coloración gris oscuro.

### Composición química de los residuos mineros

La composición química de los niveles descritos en los perfiles de los diques I se informa en la Tabla 1.

El orden decreciente de abundancia de los elementos son Pb, Zn, Cu y As (Figura 2). En profundidad, se observa una disminución en las concentraciones de la totalidad de los elementos, aunque la mayoría de ellos están fuertemente enriquecidos en el nivel TI-H. Procesos como la co-precipitación y la adsorción probablemente ocurran aquí, porque esta capa parece acumular los elementos lixiviados del nivel supra yacente. Debido a sus características físicas y químicas, este nivel puede definirse claramente como un hardpan. Lottermoser [2] indicó que el efecto del hardpan en los diques de colas es proteger los materiales subyacentes de la oxidación adicional, limitar la generación de DAM y la liberación de metales al reducir la porosidad del sedimento y mejorar la

acumulación de metales mediante la adsorción y co-precipitación en minerales secundarios.

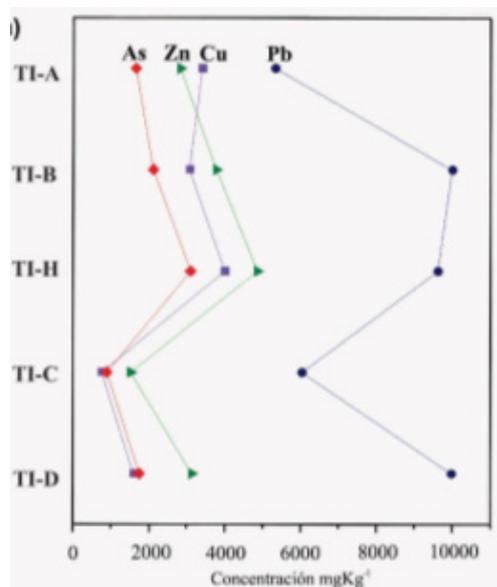


Figura 2. Distribución de los elementos traza a lo largo del perfil de oxidación del dique de cola.

Composición mineralógica

La mineralogía de los sedimentos reportados en la Tabla 2 corresponde a las fases cristalinas identificadas por DRX. Los silicatos como el cuarzo, las plagioclasas y la illita, así como la pirita, son los principales minerales primarios determinados a lo largo del perfil del dique de cola I. El cuarzo es el mineral más abundante (> 47% del contenido mineral total), seguido de illita (25,1-36,6%). Las plagioclasas son escasas y solo se cuantificó en los niveles TI-B y TI-C. De forma similar, la pirita solo se consideró en el nivel inferior TI-D, donde representa el 2,1% del contenido mineral. A pesar de esto, también se observaron por SEM/EDS, cristales euhedros de sulfuros muy bien conservados en los niveles TI-A y TI-B. Además, en el nivel TI-D fue posible con esta técnica, identificar granos de sulfuros polimetálicos y As especialmente asociado a sulfuros Fe y Pb.

Los minerales secundarios reconocidos son yeso, jarosita, anglesita, y una amplia variedad de sulfatos hidratados de Fe como rozenita, szomolnokita, mereiterita, melanterita y voltaita. El yeso es uno de los minerales secundarios más abundantes en el perfil, y se concentra particularmente en el nivel

TI-H. La jarosita, es el principal producto derivado del drenaje ácido de la mina, y se identificó en casi todos los niveles, variando su contenido entre un 2,4% en TI-C a 4,5% en el nivel TI-A.

Fases (%)	TI-A	TI-B	TI-H	TI-C	TI-D
	Dique de Cola				
Cuarzo (SiO <sub>2</sub> )	65.6	47.6	57.2	71.1	57
Muscovita-illita (KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub> )	27.5	36.0	31.2	25.1	36.6
Yeso (CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O)	1.0		6.2	0.9	0.2
Albita (NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )			1.7	0.5	
Ortoclasa (KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )					
Jarosita (KFe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> )	3.4	3.7		2.4	2.5
Plumbojarosita (PbFe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> (OH) <sub>12</sub> )	1.2				
Voltaita (K <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> ) <sub>3</sub> (Fe <sup>3+</sup> ) <sub>3</sub> Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>12</sub> ·18H <sub>2</sub> O)	0.2	0.6	0.70		
Szomolnokita (FeSO <sub>4</sub> ·(H <sub>2</sub> O))		2.6			
Rozenita (FeSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O)		1.5	1.3		
Mereiterita (K <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·4(H <sub>2</sub> O))	1.1	7.0			
Anglesita (PbSO <sub>4</sub> )		0.9	1.7		
Pirita (FeS <sub>2</sub> )					2.1
Melanterita (FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O)					1.6
Rhomboclasa (H <sub>3</sub> FeO <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O)					
X <sup>2</sup>	1.80	1.72	1.86	1.99	1.57

Tabla 2: Composición mineralógica de los desechos mineros

Extracciones secuenciales: Fases asociadas al As

Las proporciones de As asociadas con las diferentes fases sólidas se muestran en la Tabla 3. La cantidad de As asociada con la fracción soluble varía entre 1 y 24% del As total, con los valores más altos medidos en el horizonte TI-B.

A diferencia de la fase débilmente adsorbida, la cantidad de As fuertemente adsorbido representa entre el 17 y el 41% del As total. El As asociado con las fases de (oxi)hidróxidos Fe menos cristalinas, como schwertmannita, representan aproximadamente el 3 al 8%. El As incorporado con la fracción de óxidos cristalinos de Fe como goethita, hematita y sulfatos de Fe (jarosita), también son fases a destacar, variando entre 2-31%. La proporción de As unido a sulfuros primarios es variable. La fracción residual incluye todas las fases que no son solubles en los reactivos

Muestras	Soluble	Débilmente adsorbido	Fuertemente adsorbido	Óxidos- Fe Amorfos	Óxidos- Fe Cristalinos	Sulfuros	Residual
<i>II</i>							
TI-A	8	0	41	5	18	11	17
TI-B	24	0	38	3	2	1	31
TI-H	8	0	32	3	3	24	30
TI-C	4	0	36	7	31	0	22
TI-D	1	1	17	8	20	22	30

**Tabla 3:** Resultados de las extracciones secuenciales de los desechos mineros acumulados en el dique. Los valores se expresan en % en peso.

utilizados en los pasos de extracción descritos. La proporción de As asociado a esta fase representa el 17 al 30% de su contenido total.

#### *Análisis XAS en el borde K del Fe*

Los parámetros de los ajustes estructurales se enumeran en la Tabla 4.

En los niveles superiores, TI-A y TI-B, el modelo XAS del Fe revela la presencia de jarosita arsenical, schwertmannita y arseniato de Fe (III) amorfo. Los resultados indican que en la muestra TI-A, la primera esfera de coordinación está compuesta de seis átomos de O alrededor de un átomo central de Fe, cuatro de ellos ubicados a una distancia de 1,96 Å y los dos átomos restantes a 2,06 Å. La segunda esfera corresponde al enlace Fe-S, con un número de coordinación (N) igual a 2 a una distancia de 3,2 Å, y al enlace Fe-Fe con N = 3,9 a una distancia de 3,6 Å. Estos dos enlaces de coordinación, claramente presentes en este nivel, justifican la presencia de jarosita. Sin embargo, en el análisis no se pudo diferenciar el enlace Fe-K característico de la jarosita, tal vez porque esta señal es demasiado débil para ser considerada en el procedimiento del ajuste. Savage et al. [20] explican que la incorporación de arseniato en la estructura de la jarosita puede causar una disminución en el contenido de potasio. Otra característica interesante de analizar es el valor elevado del parámetro de Debye-Waller ( $\sigma^2$ ), factor indicativo del desorden de la estructura, obtenido para la distancia Fe-S ( $\sigma^2 = 28 \times 10^{-3} \text{ \AA}^2$ ), este alto valor estaría indicando que el sitio tetraédrico está bastante desordenado. Además, el modelo revela que hay cuatro átomos de As a una distancia de 3,36 Å del Fe. Esta coordinación (Fe-As) es típica de escorodita [21], mineral que no fue identificado mediante DRX o

SEM-EDS, probablemente porque está en forma de pátinas delgadas y no pueden determinarse por estas técnicas. Según Savage et al. [20], los átomos de As y S en la jarosita arsenical comparten el sitio tetraédrico en una disposición desordenada, por lo que, en un análisis XAS, la señal correspondiente a la coordinación Fe-As solo contribuye aproximadamente en un 10%. Sin embargo, cuando están presentes tanto jarosita arsenical como arseniato de Fe (III) amorfo, hay una contribución significativa del enlace Fe-As y una insignificante del Fe-S. Al igual que las formas cristalinas, las fases amorfas de los arseniatos de Fe (III) usualmente muestran un enlace Fe-As a una distancia de 3,31 Å, pero con un número de coordinación más bajo (N = 1,1). Por lo tanto, la transición de la jarosita arsenical al arseniato de Fe (III) implica una pérdida del enlace Fe-S y una disminución en el número de coordinación en la distancia Fe-As. La suma de las evidencias espectroscópicas mencionadas junto con la presencia de cuatro átomos de As coordinados al Fe, la ausencia de la señal Fe-K y la identificación de un sitio tetraédrico desordenado, sugiere claramente la presencia de As sustituyendo al sulfato en la estructura de la jarosita (As-jarosita) en el nivel TI-A. No se descarta la presencia de arseniatos de Fe (III) amorfos en este nivel, dado que el ajuste dio un valor bajo en el número de coordinación en el enlace Fe-Fe (N= 3,85). Además, el análisis determinó, dos enlaces Fe-Fe, por un lado, 2 átomos de Fe a una distancia de ~ 3,1 Å y por otro lado, el enlace Fe-Fe con N= 4,0 a una distancia de 3,3 Å. Aunque estas distancias se han descrito normalmente para la schwertmannita, el número de coordinación obtenido (N = 4) no es congruente con esta fase. Esto puede ser consecuencia de un fuerte solapamiento entre los enlaces Fe-Fe del

arseniato de Fe(III) amorfo y la schwertmannita. Por otro lado, y teniendo en cuenta los parámetros obtenidos para la primera esfera de coordinación Fe-O (la más conservativa), el modelo revela que la jarosita predominaría sobre la schwertmannita, en el nivel TI-A.

De manera similar a la muestra TI-A, la aparición de As-jarosita en el nivel TI-B se infiere por la presencia del enlace Fe-S, y la ausencia de Fe-K. En la primera esfera de coordinación el Fe se coordina octaédricamente con oxígeno, en donde 3 átomos de O están ubicados a una distancia de 1,96 Å alrededor del Fe y los tres átomos restantes a 2,06 Å. Las distancias Fe-O y la presencia de dos enlaces Fe-Fe a una distancia de ~ 3,1 y 3,3 Å con N = 1,9 y 2,0, sugieren la presencia de schwertmannita en el nivel TI-B. El valor de N del enlace Fe-O es más bajo que el correspondiente a una schwertmannita, lo que podría ser el resultado de una superposición de picos entre jarosita y schwertmannita. Esto también sugiere que la schwertmannita predominaría sobre la jarosita en este nivel. Los valores altos de  $\sigma^2$  determinados para el enlace Fe-As ( $\sigma^2 = 90 \times 10^{-3} \text{ \AA}^2$ ) y Fe-Fe a una distancia de 3,63 Å ( $\sigma^2 = 23 \times 10^{-3} \text{ \AA}^2$ ), junto con la disminución de 0,2 átomos en el número de coordinación de Fe-Fe son típicas de estructuras altamente desordenadas, probablemente arseniatos de Fe(III) amorfos [20]. Debido a que los arseniatos de Fe(III) amorfos no pudieron ser identificados por otras técnicas, esta fase podría estar presente en el nivel TI-B como recubrimientos delgados en los granos de jarosita y/o schwertmannita.

El enlace Fe-As determinado en el análisis del nivel TI-H corresponde a un arseniato de Fe(III). Esta es la única fase que puede identificarse en esta muestra. La formación del hardpan, genera un nivel en el que se acumulan metal(oid)es, lo que lleva a un aumento pronunciado de As y otros metales que precipitan y/o forman fases minerales amorfas. Por otro lado, el enlace Fe-X identificado a ~ 3,4 Å puede ser ajustado tanto con los átomos de Na, K o Pb, con parámetros similares. En consonancia con los estudios mineralógicos, la jarosita no pudo tampoco ser identificada mediante XAS. Es importante resaltar aquí que la concentración de As (~3100 ppm) es lo suficientemente alta como para poder identificar la señal Fe-As en el ajuste XAS del Fe.

En el nivel TI-C, se identificaron varios enlaces

típicos de la jarosita tales como Fe-O, Fe-S y Fe-Fe. Además, el ajuste mostró dos enlaces Fe-Fe a distancias de 3,0 y 3,5 asignadas a un oxi-hidroxi-sulfato de Fe, probablemente schwertmannita [22]. Por otro lado, el alto valor de  $\sigma^2$  sugiere que este mineral presenta una baja cristalinidad.

Finalmente, en el nivel inferior (TI-D), se adapta bien a las referencias de minerales de jarosita y sulfuros amorfos. La fase de jarosita solo ha sido establecida por la presencia de la primera esfera de coordinación (Fe-O). Por otra parte, el enlace Fe-S con N= 6 a una distancia de 2,2 Å es típica de varios minerales de sulfuro de Fe, tales como piritita, marcasita y sulfuros amorfos [23], que no se pueden diferenciar por XAS. El mejor ajuste para establecer la identidad del mineral se logra con cuatro átomos de Fe ubicados a una distancia de 3,46 Å y con el enlace Fe-Fe con N=4 a una distancia de 3,85 Å. La distancia Fe-Fe a 3,46 Å difiere de las distancias Fe-Fe en la marcasita (3,37 Å) o la de sulfuros amorfos (3,67 Å). Además, la marcasita tiene 8 átomos de Fe a 3,91 Å y la piritita 12 átomos de Fe a 3,83 Å que podrían contribuir al enlace Fe-Fe a 3,85 Å. Debido a ello, todas estas contribuciones sugieren la presencia de minerales de sulfuros amorfos en el nivel TI-D.

Muestras	Capa	N	R (Å)	$\sigma^2(1 \times 10^{-3} \text{ \AA}^2)$	$\Delta E_0$ (eV)	R-factor			
<i>Dique de cola I</i>									
TI-A	Fe-O	3,86	1,96	4	1,66	0,003			
	Fe-O	1,94	2,06	1					
	Fe-Fe	1,95	3,09	5					
	Fe-S	2,00	3,23	28					
	Fe-Fe	3,99	3,27	5					
	Fe-As	3,91	3,36	6					
	Fe-Fe	3,85	3,60	10					
	Fe-MS	7 (f)	4,20	8					
	TI-B	Fe-O	3,03	1,96			0,1	0,18	0,002
		Fe-O	2,87	2,09			1		
Fe-Fe		1,94	3,14	9					
Fe-S		2,05	3,21	4					
Fe-Fe		2,01	3,31	4					
Fe-As		4,00	3,36	90					
Fe-Fe		3,80	3,63	23					
Fe-MS		12 (f)	4,17	2					
TI-H		Fe-O	3,79	1,99	6	3,28	0,003		
		Fe-O	1,88	2,07	2				
	Fe-As	3,68	3,34	15					
	Fe-X	2,07	3,43	13					
	Fe-MS	7 (f)	3,93	34					
	TI-C	Fe-O	3,97	1,97	2			2,40	0,002
		Fe-O	2,02	2,10	0,4				
Fe-Fe		2,06	3,03	133					
Fe-S		1,95	3,25	0,5					
Fe-X		2,05	3,41	0,4					
Fe-Fe		2,25	3,51	9					
Fe-Fe		4,01	3,66	14					
Fe-MS		7 (f)	4,15	27					
TI-D		Fe-O	4,01	1,98	2	-1,06	0,001		
		Fe-O	2,01	2,11	3				
	Fe-S	5,97	2,24	29					
	Fe-Fe	3,91	3,46	3					
	Fe-Fe	3,99	3,85	9					
	Fe-MS	12 (f)	4,17	1					

**Tabla 4:** Parámetros estructurales obtenidos del análisis de los espectros XAS del borde K del Fe para las muestras de los residuos mineros.

### Análisis XAS en el borde K del As

Los parámetros estructurales de ajuste se muestran en la Tabla 5.

Muestras	Capa	N	R (Å)	$\sigma^2(1 \times 10^{-3} \text{Å}^2)$	$\Delta E_0$ (eV)	R-factor
<i>Dique de cola</i>						
TI-A	As-O	4,3	1,68	0,3	6,71	0,010
	As-Fe	2,4	3,34	5		
	As-Fe	1,3	3,49	0,3		
TI-B	As-O	4,0	1,68	0,1	5,50	0,006
	As-Fe	2,5	3,29	67		
	As-Fe	1,4	3,89	5		
TI-H	As-O	4,0	1,68	0,6	6,94	0,003
	As-S	1,1	2,47	6		
	As-Fe	2,7	3,34	6		
	As-Fe	1,6	3,50	2		
TI-C	As-O	4,2	1,68	1	6,81	0,003
	As-S	1,1	2,47	4		
	As-As	2,0	3,19	3		
	As-Fe	4,2	3,44	10		
TI-D	As-O	4,0	1,68	0,3	3,97	0,009
	As-Fe	3,0	2,31	16		
	As-S	1,0	2,34	23		
	As-As	1,0	3,21	2		
	As-As	2,8	3,50	8		

**Tabla 5:** Parámetros estructurales obtenidos del análisis de los espectros XAS del As para las estudiadas

Para todas las muestras, la primera esfera de coordinación es asignada a compuestos de arseniato en una estructura tetraédrica, con átomos de oxígeno ubicados a una distancia de 1,68 Å del átomo central. Los grupos de arseniato pueden estar adsorbidos en la superficie mineral o incluidos dentro de la red cristalina. El análisis del enlace As-Fe en las muestras TI-A y TI-B pueden ayudar a diferenciar estas dos situaciones. Según Foster y Kim [24], esta distancia corresponde a arseniatos adsorbidos formando complejos bidentados binucleares (2C) (As-Fe= 3,30/3,37 Å). Sin embargo, la misma es muy similares a la de los arseniatos sustituyendo a sulfatos en la estructura de la jarosita (As-Fe= 3,31/3,35 Å). Por lo tanto, teniendo en cuenta solo la distancia no es posible discriminar si corresponde a una señal de arseniato adsorbido o sustituido. Los valores de número de coordinación si aportar más información. Por ejemplo, los complejos adsorbidos poseen solo dos átomos de Fe alrededor del As, mientras que en la posición del sulfato hay 4 átomos. De acuerdo con los resultados indicados en la Tabla 5, los valores de N en las muestras del dique de colas son 2,4-2,5 para distancias atómicas As-Fe entre 3,29 y 3,34 Å, por lo que estos números de coordinación se aproximan a los valores correspondientes a complejos bidentados, pero la posibilidad de sustitución en la estructura de la jarosita no pudo ser descartada. Los análisis XAS del Fe junto con los valores intermedios de los números de

coordinación (N= ~ 2,5) obtenidos para los niveles TI-A y TI-B indican la ocurrencia de ambos tipos de especies de As, arseniato adsorbido formando un complejo 2C y arseniato sustituido en jarosita. La geometría bidentada también es consistente con la estructura de arseniatos de Fe(III) amorfos [22]. Es entonces difícil determinar aquí si el arseniato se adsorbe sobre la schwertmannita/jarosita o si está formando arseniatos de Fe(III) amorfos sobre el mineral. Sin embargo, teniendo en cuenta que todo proceso de precipitación superficial se inicia en un proceso adsorción, se espera que ambas especies de arseniato ocurran simultáneamente en estas dos muestras. Por otro lado, el enlace As-Fe a distancias más largas en las muestras TI-A y TI-B (R= 3,49 y 3,85 Å respectivamente) corresponde arseniatos adsorbido formando complejos monodentados (R= 3,6 Å, [25]).

En el nivel TI-H, se identificaron complejos monodentados y bidentados binucleares. Este último puede justificar la presencia del arseniato de Fe(III), previamente ya inferido por los datos del XAS del Fe. Además, en el modelo se ajustó el enlace As-S con N= 1,1 a una distancia de 2,5 Å, lo que indica la presencia de arsenopirita.

Para la muestra TI-C, se determinó la presencia de arseniatos y sulfuros amorfos. Los arseniatos se infieren del enlace As-O y pueden corresponder a As adsorbido en jarosita/schwertmannita, fases definidas por el análisis XAS del Fe. Los enlaces distorsionados de As-S, As-As y As-Fe están cercanos a los asignados como sulfuros amorfos, probablemente de arsenopirita y oropimente [26]. Por último, en los residuos TI-D se identificaron a partir del enlace As-O compuestos de arseniato (Tabla 5), a pesar de las condiciones reductoras que parecen predominar en este nivel. Los enlaces restantes se ajustaron con los parámetros de arsenopirita (Tabla 5; As-S y As-Fe a distancias de 2,34 Å y 2,31 Å) [22], [23] y oropimente (Tabla 5; As-As a 3,21 Å y 3,5 Å) [26]. La proporción de oropimente en el material TI-D es probablemente mayor que en el TI-C, debido a la presencia de dos enlaces As-As típicos.

### Procesos asociados a la oxidación de los residuos

El análisis XAS realizado y las fases identificadas en los residuos mineros permitieron realizar una reconstrucción de la secuencia de los procesos de

meteorización que afectaron los desechos en los últimos 30 años.

El proceso comienza con la oxidación de arsenopirita. Dicha reacción redox produce la liberación de sulfato, protones e iones arseniato a la solución. Este As liberado podría permanecer como As (III) y posteriormente precipitar como arsenolita ( $As_2O_3$ ) en condiciones reductoras, u oxidarse en solución a As (V) [6].

Los minerales secundarios formados en el proceso de oxidación son el arseniato de Fe(III) amorfo, jarosita y schwertmannita, todos ellos identificados principalmente en los niveles superiores. La jarosita puede retener o incorporar en su estructura los arseniatos liberados, mediante adsorción y/o sustitución. Además, la misma puede favorecer la precipitación de arseniatos de Fe(III) amorfo, cuando las concentraciones de As son elevadas. La sustitución de arseniato por sulfato en la estructura de la jarosita produce una disminución de su estabilidad, debido al desequilibrio de cargas generadas por el cambio de aniones [28].

La schwertmannita se encuentra típicamente en ambientes ácidos (pH 2,4 y 4), ricos en hierro y sulfatos (entre 1000 y 3000  $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) [29]. Este oxi-hidroxi-sulfato puede adsorber As a pH ácido, generalmente formando complejos monodentados y bidentados [7], [30]. Estas asociaciones de fase encontradas coinciden con los resultados de las extracciones secuenciales, indicando que el As se asocia con la fracción adsorbida (32-41%) y a la de óxidos de Fe (III) (38%).

En los niveles inferiores (TI-C y TI-D) se desencadena un proceso local donde, las condiciones reductoras dan lugar al proceso de sulfidización de la As-jarosita. Este proceso se origina bajo condiciones ácidas y la presencia de sulfuro en solución (posiblemente generado por bacterias reductoras de sulfato) que al entrar en contacto con la As-jarosita favorece su disolución y la consecuente liberación de As (V), Fe (III) y sulfato que posteriormente se reducen por las condiciones imperantes del medio. Así, el As(III) y el sulfuro libre facilitan la precipitación de fases de sulfuros de As, como el oropimente [31]. Este mineral controla la movilidad del As durante las últimas etapas de la sulfidización de la As-jarosita [31]. Este proceso se infiere para estos niveles debido a que el oropimente se identificó mediante los análisis XAS y en los procedimientos de

extracción secuencial.

La arsenopirita solo se detectó en el hardpan y en los niveles subyacentes del dique, lo que indica que la disolución oxidativa de la arsenopirita no está completa en estos niveles. Esto podría deberse a la formación de recubrimientos delgados de jarosita en forma de pátinas sobre la superficie de la arsenopirita [32], sumado al efecto de barrera que ofrece el hardpan (TI-H), impidiendo el avance del frente de oxidación, al limitar la penetración del  $O_2$  y el  $H_2O$  en profundidad.

En los niveles inferiores del perfil, la asociación del As con los sulfuros (arsenopirita y oropimente), explica la menor liberación de As cuando estos residuos están en contacto con el agua, debido a su lenta velocidad de disolución. Asimismo, la mayor liberación de As desde los niveles superiores (TI-H, TI-B y TI-A) fueron asignadas a la presencia de sulfatos hidratados en esos residuos. Sin embargo, mediante XAS se determinó que las mayores contribuciones podrían explicarse por la presencia de fases discretas de arseniatos de Fe(III) amorfos en jarosita y schwertmannita. Paktunc et al. [33] determinaron mediante experimentos de síntesis, que el arseniato Fe(III) se disuelve rápidamente a medida que el pH aumenta por encima de 4,5.

#### *Procesos generados en los minerales por la presencia de As*

La oxidación de la piritita y arsenopirita al acidificar el medio y liberar hierro y sulfatos, permiten la formación de jarosita, siendo así el primer mineral que se forma dentro de la secuencia de meteorización de los sistemas DAM, capaz de retener As. Este mineral es estable a valores de pH ácido ( $\text{pH} < 3$ ) [5]. Sin embargo, la ocurrencia de determinadas condiciones (pH ácido y oxidación), como así también otros procesos complementarios pueden promover la disolución o alteración de la jarosita y dar lugar a otras fases que contienen Fe-As.

De acuerdo con los datos espectroscópicos obtenidos, sumado a los de DRX, la jarosita está presente en los dos perfiles analizados, con la excepción del nivel hardpan (TI-H). Además de jarosita, también se ha identificado schwertmannita. Este mineral no es de formación temprana y las incidencias sugieren un origen en el que el  $Fe^{3+}$  y el  $SO_4^{2-}$  requerido han sufrido

solubilización, transporte y posterior precipitación en lugar de mantener una asociación íntima con los precursores [34].

La estabilidad de la jarosita está controlada por varios factores, tales como el pH y las condiciones redox del medio, pero también por la presencia de aniones que puedan ocupar el sitio tetraédrico (por ej. arseniato, sulfato). Según Savage et al. [20] la incorporación de As en jarosita produce la expansión de su estructura a lo largo del eje c. En tales condiciones, el arseniato puede ocupar los sitios tetraédricos. Cuando la sustitución es importante, se produce la deformación completa de su estructura, dando lugar a la formación de compuestos amorfos de arseniatos de Fe(III). A su vez, la presencia de estos arseniatos como fases discretas o sustituidas en la jarosita, inhibe también su disolución. Esto ocurre porque el enlace As-Fe es más fuerte que el del sulfato - Fe, lo que promueve la formación de arseniatos de Fe (III), evitando la protonación de la jarosita a un pH bajo y por lo tanto su disolución [35].

En los desechos estudiados, gran parte del As se encuentra incorporado mediante sustitución, adsorción o co-precipitación en los minerales. En los niveles TI-A y TI-B, la sustitución de arseniato por sulfato en jarosita es evidente, debido al desorden de los enlaces Fe-S, Fe-As y Fe-Fe junto con la ausencia del enlace Fe-K. Para los niveles restantes, los datos EXAFS no permiten diferenciar si el As se asocia a jarosita y schwertmannita por adsorción, o si se encuentra formando recubrimientos en forma de pátinas o fases discretas de arseniatos de Fe(III) amorfos.

Como se mencionó anteriormente, la disolución de la As-jarosita produce la liberación de As y de una solución rica en sulfatos que permite la formación schwertmannita cuando se produce un leve incremento del pH (2,5-4). El As liberado y en solución, puede ser adsorbido sobre schwertmannita, lo cual también afecta su estabilidad y disolución. Maillot et al. [22] sugieren que la incorporación de As (V) en la schwertmannita puede atribuirse a la fuerte afinidad del As (V) con unidades estructurales FeO<sub>6</sub>; sin embargo, esto afecta su posterior nucleación, generándose oxihidroxidos de Fe(III) con As, de estructura similar a arseniato de Fe (III). La polimerización de la estructura octaédrica (FeO<sub>6</sub>) de todos los (oxi)hidróxidos de Fe depende en

gran medida de la presencia de otras especies en la solución. Song et al. [36] explican que a pH 6 y en presencia de una relación As:Fe alta, este proceso tiende a formar arseniatos de Fe(III), tal como se observa en las muestras estudiadas. Zhang et al. [37] encontraron resultados similares para una schwertmannita con As (V) durante el proceso de sulfidización.

Los resultados XAS del As revelan la presencia de arseniatos adsorbidos bajo la forma de complejos bidentados y también como fases discretas de arseniatos de Fe(III), ambos identificados con parámetros similares (distancias y número de coordinación). Por lo tanto, resulta difícil diferenciarlos, incluso luego del análisis por XAS. Jiang et al. [38] evaluaron el proceso de precipitación superficial de los arseniatos de Fe(III) y llegaron a la conclusión que a pH ácido (3,0-6,0), el arseniato se adsorbe a través de complejos en la superficie de los óxidos de Fe (III). Posteriormente a este proceso, se libera Fe<sup>3+</sup> producto de la disolución de los óxidos de Fe el cual se reabsorbe. Finalmente, el arseniato que se encuentra en exceso en la solución se adsorbe, y cuando se genera la saturación de los sitios y se supera la concentración de saturación, se produce la precipitación superficial, de arseniato de Fe (III). Por lo tanto, los complejos monodentados identificados, con distancias Fe-As algo más largas que las típicas informadas, podrían explicar la transición entre el arseniato adsorbido y el precipitado. Por otro lado, los complejos bidentados identificados hacen referencia a la presencia de As adsorbido a jarosita y a los recubrimientos de arseniatos de Fe(III) amorfos sobre schwertmannita.

#### *Composición química del agua del arroyo Concordia*

La meteorización de los desechos mineros estudiados tiene un impacto directo sobre las características físico-químicas del arroyo Concordia, según lo revelan los parámetros determinados en las muestras de agua recolectadas a lo largo del tramo afectado (Tabla 6).

Los valores bajos de pH prevalecen en el tramo afectado por los residuos mineros con valores que oscilan entre 3,15 y 3,70. Este rango ácido permanece casi constante en el trayecto estudiado

de ~1 km de longitud. La conductividad eléctrica (CE) es elevada y también permanece casi constante en la dirección de flujo. Los valores de CE están controlados por las condiciones hidrológicas en la cuenca, ya que los promedios fueron ligeramente más bajos al final del período húmedo ( $1,84 \pm 0,2$  mS cm) que los medidos en condiciones de flujo de base ( $2,25 \pm 0,1$  mS cm). Del mismo modo, las condiciones redox fueron ligeramente más oxidantes al final del período húmedo, que en el período seco.

La concentración relativa de cationes mayoritarios a lo largo del tramo analizado fue  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$ , mientras que  $\text{SO}_4^{2-}$  es el anión dominante en toda la sección.

Los elementos traza como As, Fe y Pb muestran una tendencia a la disminución de las concentraciones en la dirección del flujo. Curiosamente, la muestra recolectada en el afluente del arroyo (ALC 5), que se encuentra aguas arriba, muestra concentraciones marcadamente más bajas de la mayoría de los elementos, porque no está en contacto con los residuos de la mina (Figura 1).

Las contenidos de As, Fe, Cu, Pb y Zn exceden el valor de referencia recomendado para agua potable, establecido por la normativa argentina e internacional ( $10 \mu\text{g L}^{-1}$ ; CAA Código Alimentario Argentino, [39], OMS Organización Mundial de la Salud, [40]). En el tramo dominado por el DAM, las concentraciones de As en el período seco varían de  $5,1 \text{ mg L}^{-1}$  a la salida del socavón de la mina a aproximadamente  $0,08 \text{ mg L}^{-1}$  antes de la infiltración completa de la corriente, a pocos metros aguas abajo del dique de cola IV. Por el contrario, en el período húmedo las concentraciones de As son menores y varían de  $2,3 \text{ mg L}^{-1}$  a  $0,03 \text{ mg L}^{-1}$  (Tabla 6). En general, las concentraciones de todos los solutos son menores en este período.

Las concentraciones de Fe disuelto son de uno a tres órdenes de magnitud mayores que el valor de referencia para agua de consumo ( $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ ) y muestran como en todos los demás elementos, una tendencia general a disminuir aguas abajo. A pesar de que las concentraciones de Fe al final del período húmedo se atenúan notablemente, aún exceden los niveles máximos recomendados para el agua potable.

Las concentraciones de Pb son hasta 30 veces más altas que el valor máximo permitido ( $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ )

y las de Zn son dos a casi seis veces mayores ( $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ ). Por último, las concentraciones de Cu también exceden este valor ( $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) siendo altas y bastante constantes a lo largo del tramo analizado durante el período seco, mientras que en la estación húmeda algunas concentraciones cumplen con los requisitos del CAA.

## CONCLUSIONES

La fuente primaria de As en el perfil corresponde a sulfuros polimetálicos, arsenopirita y pirita arsenical que forman parte de la ganga de la explotación y que quedaron concentradas en los lodos acumulados en los cuatro diques de cola donde se han almacenado los residuos. Luego de 30 años de exposición a los agentes de meteorización, estos residuos se oxidaron, generando un típico perfil de meteorización, donde los niveles superiores muestran claros signos de oxidación. Una característica muy importante en este perfil es el desarrollo de un nivel denominado hardpan que actúa como una barrera que retiene los elementos lixiviados de los niveles superiores, dando lugar a un enriquecimiento de metal(oid)es. Además, impide el progreso del frente de oxidación ya que, actúa como una barrera hidráulica y difusiva al limitar la movilidad de  $\text{O}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . En consecuencia, los niveles inferiores son los menos alterados y presentan los mayores contenidos de sulfuros.

De acuerdo al análisis de datos XAS en los bordes K del Fe y As, las especies de Fe y As se distribuyen en tres fases principales a lo largo del perfil de oxidación.

- Arsénico presente como impureza dentro de la estructura de la jarosita, sustituyendo al sulfato como ion arseniato.
- Arsénico presente como especies adsorbidas/co-precipitadas en la superficie de oxi-hidroxi-sulfatos de Fe tales como jarosita y schwertmannita.
- Formando parte de fases minerales en las cuales el As y el Fe se encuentran representado la fórmula química del mineral como arsenopirita, oropimente y arseniatos de Fe(III) amorfos.

En base a ello se postulan los siguientes procesos:

- La oxidación de la pirita y arsenopirita da lugar a la liberación de As, Fe, sulfatos y protones, generando soluciones ricas y las condiciones de acidez adecuadas bajo las cuales precipita la

a)

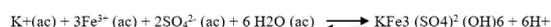
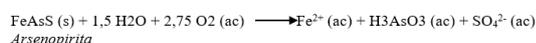
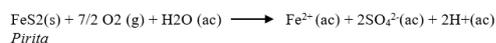
Muestras	pH	Conductividad mS/cm	Eh mV	Na <sup>+</sup> mg L <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HC O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe	Pb	Cu	Zn	Cd	As
ALC1	3.2	2.4	353	43.	15.	43.	40.	13.	21.	1258	bdl	235	1.5	1.2	28.	314	4.7
	1			1	4	0	3	1	1	.5		.9	8	1	70	.4	1
ALC2	3.56	2.3	385	45.	14.	47.	43.	13.	26.	1728	bdl	245	1.3	1.4	32.	201	5.0
				6	1	9	1	3	9	.6		.8	4	3	03	.3	9
ALC3	3.66	2.2	410	36.	5.7	38.	34.	16.	23.	1311	bdl	72.	0.6	3.7	28.	219	1.2
				8		6	8	4	2	.9		68	2	9	41	.7	8
ALC4	3.25	2.3	311	38.	14.	38.	35.	10.	26.	1525	bdl	219	1.4	1.1	27.	168	5.0
				7	4	7	1	8	4	.7		.7	4	6	30	.7	4
ALC5	3.21	nd	nd	28.	4.9	21.	19.	12.	17.	706.	bdl	7.7	0.2	1.8	15.	128	0.2
				9		0	4	6	6			1	5	5	83	.8	0
ALC6	3.18	2.0	456	38.	5.3	43.	39.	33.	26.	1634	bdl	17.	0.0	3.8	27.	225	0.0
				0		3	7	2	9	.8		33	8	5	85	.4	8

b)

Muestra	pH	Conductivity mS/cm	Eh mV	Na <sup>+</sup> mg L <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HC O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe	Pb	Cu	Zn	Cd	As
ALC1	3.7	1.70	436	26.	5.6	21.	9.7	27.	31.	1005.	bdl	32.0	0.7	3.9	13.	111	0.0
	0			47	4	24	1	90	07	49		5	5	6	92		4
ALC2	3.3	1.97	382	23.	8.4	21.	11.	3.7	17.	845.1	bdl	99.2	0.5	0.4	11.	95.	2.3
	0			42	7	98	03	0	95	8		5	5	2	77	1	
ALC3	3.4	1.95	406	19.	4.1	19.	10.	15.	23.	1111.	bdl	28.0	0.1	1.6	12.	55.	0.4
	2			62	1	78	26	97	20	22		6	5	5	68	03	
ALC4	3.4	1.94	355	35.	13.	33.	16.	5.3	23.	1169.	bdl	158.	0.8	0.5	17.	77.	4.2
	5			33	78	39	81	3	70	20		25	0	9	71	7	
ALC5	3.1	1.55	542	30.	3.0	23.	9.9	28.	16.	675.1	bdl	5.38	0.0	1.8	17.	77	0.0
	5			61	5	84	9	85	79	8		5	3	14			3
ALC6	3.2	1.98	445	41.	8.6	41.	19.	30.	38.	1354.	bdl	25.1	0.1	3.4	25.	118	0.2
	6			03	5	24	76	06	74	96		7	6	4	15		9

**Tabla 6:** Composición química de las muestras de agua recolectadas en el tramo impactado del arroyo Concordia en (a) junio de 2014 y (b) abril de 2016. bdl: por debajo del límite de detección; nd: no determinado

jarosita.



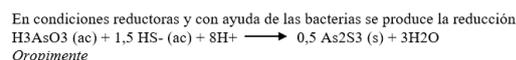
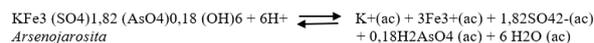
*Jarosita*

2) Adsorción de arseniato en jarosita, que ocurre en los primeros estadios de su formación.

3) Sustitución de As en la estructura de la jarosita, formando As-jarosita. A medida que la sustitución de arseniato por sulfato progresa, se observa una modificación completa en su estructura. Esto se interpreta como que, en estadios tardíos de oxidación, y en un ambiente rico en As, precipitan compuestos amorfos de arseniatos de Fe(III).

4) La As-jarosita da lugar a la precipitación de oropimente en las últimas etapas de sulfidización. Este proceso se origina bajo condiciones reductoras y de gran acidez, en los niveles inferiores del perfil que se encuentran saturados de agua. Frente a este escenario la As-jarosita reacciona con el sulfuro (posiblemente producido por la actividad metabólica de las bacterias reductoras de sulfato)

y origina su disolución (acelerada por los bajos valores de pH), y la liberación de As (V), Fe (III) y sulfato, que posteriormente se reducen por las condiciones imperantes del medio. Así, el As(III) y el sulfuro libre facilitan la precipitación del oropimente.



5) Precipitación de schwertmannita. Cuando el pH del medio aumenta ligeramente en un rango de entre 2,5 y 4,5 y a partir de soluciones ricas en sulfatos (1000- 3000 µg/mL), posiblemente derivados de la disolución de jarosita, comienza a formarse schwertmannita. Durante este proceso el As que se encuentra en solución es adsorbido en la superficie de este mineral. Cuando el As satura los sitios de adsorción, comienza la precipitación de arseniatos amorfos que recubren el mineral en forma de pátinas.

La formación de recubrimientos de arseniatos amorfos identificados en la superficie de los

granos de la schwertmannita retardaría su disolución y restringirían la liberación de sulfatos y Fe. Por otro lado, los bajos valores de pH, la composición de la solución y la temperatura, no permiten la formación de otros minerales secundarios (goethita, ferrihidrita y hematita) en la mina. La ferrihidrita es estable a pH mayores de 5 y a bajas concentraciones de sulfatos ( $< 1000 \mu\text{g/mL}$ ). Por otro lado, la goethita puede formarse en condiciones casi neutras, o cuando las soluciones bajas en sulfato ( $< 1000 \mu\text{g/mL}$ ) y pH ( $\text{pH} < 4$ ), se neutralizan con aguas ricas en carbonatos. Este mineral es menos soluble que la ferrihidrita y siempre parece estar sobresaturada en soluciones de baja temperatura. La hematita es de alta temperatura o requiere mayores tiempos geológicos para su transformación a partir de goethita.

Los arseniatos de Fe (III) amorfos sobre jarosita y schwertmannita constituyen probablemente las fracciones más lábiles en los desechos mineros, ya que se disuelven y se liberan a medida que el pH aumenta por encima de 4,5. Estas fases amorfas y lábiles son abundantes en los niveles superiores (incluido el hardpan), donde se ha producido la oxidación casi completa de los residuos. La presencia de los arseniatos amorfos puede explicar la rápida liberación de As observada experimentalmente, cuando los residuos entran en contacto con el agua.

Las elevadas concentraciones de As (mayores a  $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) medidas en el Arroyo Concordia son consecuencia de contribuciones provenientes de: 1) aportes directos desde el DAM; 2) disolución de fases solubles (principalmente de los arseniatos amorfos que recubren los granos de jarosita y schwertmannita); 3) desorción de arseniatos a medida que el pH del medio se incrementa. Además, la calidad del agua se ve afectada por el DAM, mostrando valores de pH ácidos (es decir,  $\text{pH} < 4$ ) y concentraciones de metales que superan los valores de las directrices para el agua potable. La Puna es una región medioambiental frágil con valiosos recursos económicos, pero también de gran importancia ecológica en el mundo. Por lo tanto, los desechos de la mina de sulfuro metálico abandonados sin un tratamiento adecuado, como los acumulados en la mina Concordia representan fuentes peligrosas de metal(oid)es y acidez que requieren prácticas urgentes de remediación.

En base a los resultados derivados de este trabajo se considera que, entre el conjunto de prácticas de remediación usualmente aplicadas en estos sistemas, las técnicas más económicas y técnicamente viables para la zona serían:

1) la implementación de barreras que minimicen la penetración oxígeno y agua, restringiendo el proceso de oxidación de los sulfuros. Estas barreras se construyen generalmente cubriendo los residuos con capas de arcillas compactadas, materia orgánica, láminas sintéticas, cemento, entre otras.

2) control de la acidez generada mediante la adición de materiales alcalinos tales como hidróxido de sodio (NaOH), calcita o caliza ( $\text{CaCO}_3$ ), cal ( $\text{CaO}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ ), hidróxido de aluminio ( $\text{Al(OH)}_3$ ) y carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). De acuerdo a los ensayos realizados, se necesitarían cantidades considerables de carbonatos ( $\sim 1100 \text{ t}$ ) para neutralizar la acidez generada por los residuos estudiados.

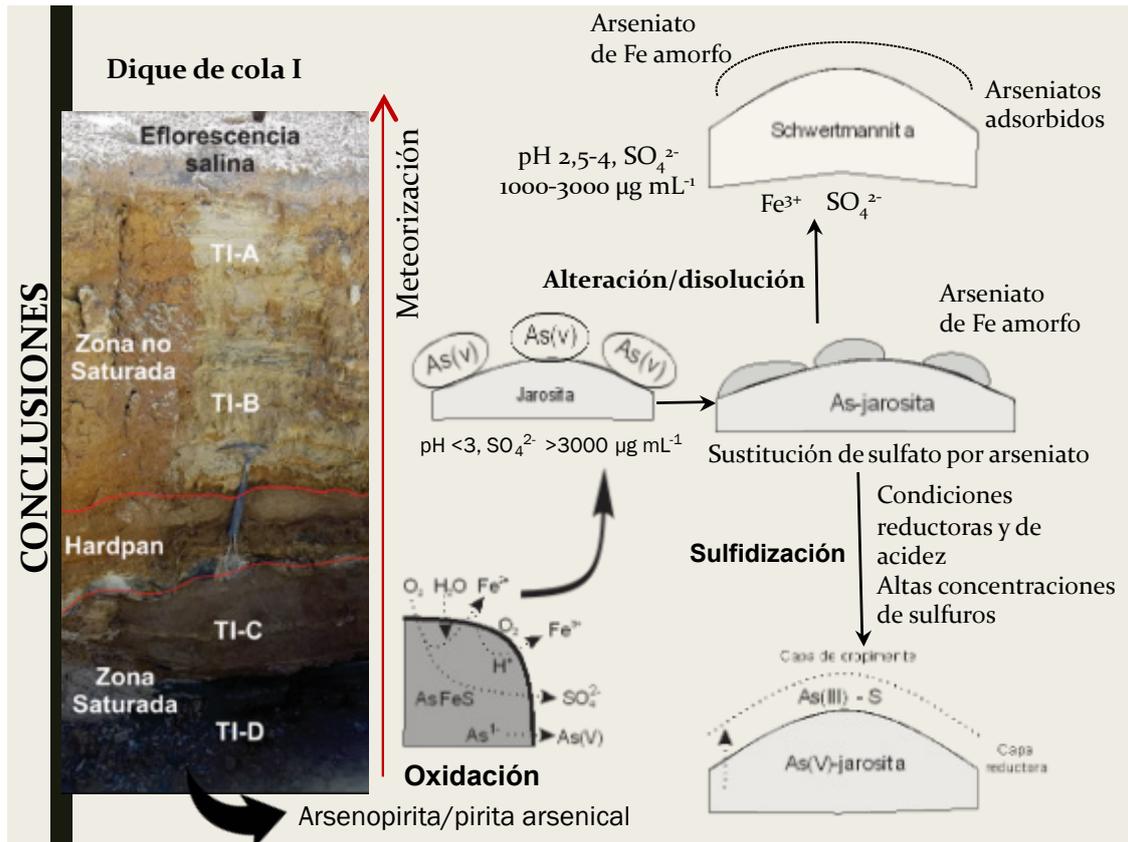


Figura 3. Resumen gráfico del proceso de meteorización de los residuos mineros que conforman el dique de cola.

## REFERENCIAS

- [1] H.E. Jamieson, Geochemistry and mineralogy of solidmine waste: essential knowledge for predicting environmental impact. Elements vol. 7, pp. 381–386, December 2011.
- [2] B.G, Lottermoser, Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts, 3rd Edition. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [3] D.K. Nordstrom and C.N. Alpers. Geochemistry of acid mine waste. In: GS. Plumlee and M.J. Londgson (Editors), The environmental geochemistry of ore deposits. Part A: Processes, techniques, and health issues. Reviews in Economic Geology 133-160, January 1999
- [4] P.L. Smedley and Kinniburgh D.G. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Appl Geochem Vol. 17, pp 517–568, May 2002.
- [5] J.M Bigham and D.K. Nordstrom. Iron and aluminum hydroxysulfates from acid sulfate waters. In: Alpers C.N., Jambor J.L., Nordstrom D.K. (Eds.), Sulfate Minerals—Crystallography, Geochemistry, and Environmental Significance. Mineral. Geochem. Vol 40, pp 351-403, January 2000.
- [6] P. Drahota and M. Filippi. Secondary arsenic minerals in the environment: a review. Vol 35, pp 1243-125, November 2009.
- [7] L. Carlson, J.M., Bigham, U. Schwertmann, Kyek A, Wagner F, Scavenging of As from acid mine drainage by schwertmannite and ferrihydrite: a comparison with synthetic analogues. Environ. Sci. Technol; vol. 36. pp 1712–1719, March 2002.
- [8] D. Langmuir, J. Mahoney, A. MacDonald, Rowson, J.. Solubility products of amorphous ferric arsenate and crystalline scorodite ( $FeAsO_4 \cdot 2H_2O$ ) and their application to arsenic behavior in buried mine tailings. Geochim Cosmochim. Acta 70 vol.

12, pp 2942-2956, June 2006

[9] B.G. Lottermoser and P.M. Ashley. Physical dispersion of radioactive mine waste at the rehabilitated Radium Hill uranium mine site, South Australia. *Australian Journal of Earth Sciences* vol. 53, pp 485-499, February 2006.

[10] F. Frau. The formation-dissolution-precipitation cycle of melanterite at the abandoned pyrite mine of Genna Luas in Sardinia, Italy: environmental implications. *Mineral Mag.* vol. 64, pp 995–1006, July 2000.

[11] R. Argañaraz, J. Mancini, R. Sureda. El yacimiento de Concordia (Ag-Pb) en la provincia de Salta, Argentina. Un proyecto de rehabilitación y explotación minera. 5° Congreso Latinoamericano de Geología, vol. 5, pp 61-78, diciembre 1982.

[12] R.J. Sureda. Zinkenita, Pb<sub>6</sub>Sb<sub>14</sub>S<sub>27</sub>, de la Mina La Concordia, Salta, Argentina, en I Reunión de Mineralogía y Metalogenia, INREMI, La Plata: Argentina, pp 297-304, mayo 1992.

[13] J.L. Jambor. Mineralogy of sulfide-rich tailings and their oxidation products. In: Jambor JL, Blowes DW (eds) *Environmental geochemistry of sulfide mine-wastes*, vol 22. Mineralogical Association of Canada, Nepean, pp 59–102, 1994.

[14] A. Kirschbaum, J. Murray, M. Arnosio, R. Tonda, L. Cacciabue. Pasivos ambientales mineros en el noroeste de Argentina: aspectos mineralógicos, geoquímicos y consecuencias ambientales. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 29, pp 248-264, Abril 2012.

[15] B. Dold. Speciation of the most soluble phases in a sequential extraction procedure adapted for geochemical studies of copper sulfideminewaste. *J. Geochem. Explor.* Vol 80, pp 55–68, August 2003.

[16] N.E. Keon, C.H. Swartz, D.J. Brabander, C. Harvey, H.F. Hemond. Validation of an arsenic sequential extraction method for evaluating mobility in sediments. *Environ. Sci. Technol.* Vol. 35, pp 2778–2784, July 2001.

[17] B. Ravel and M. Newvill. ATHENA, ARTEMIS, HEPHAESTUS: data analysis for X-ray absorption spectroscopy using IFEFFIT. *J. Synchrotron Radiat.* vol. 12, pp 537–541, May 2005.

[18] D.E. Sayers Report of the International XAFS Society Standards and Criteria Committee. <[http://www.i-x-s.org/OLD/subcommittee\\_reports/sc/](http://www.i-x-s.org/OLD/subcommittee_reports/sc/)>. 2000

[19] AH. Pesce, F. Miranda. Catálogo de manifestaciones termales de la República Argentina. Volumen 1-Region Noroeste. SEGEMAR, Buenos Aires. Vol. 36, pp 1666-3462, Marzo 2003.

[20] K. Savage, D. Bird, and P O'Day. Arsenic speciation in synthetic jarosite. *Chem. Geol.*; 215: 473-498, 2005.

[21] K. Kitahama, R. Kiriya, Y. Baba. Refinement of the crystal structure of scorodite. *Acta Crystallogr.* Vol. 31, pp 322–324, January 1975.

[22] F. Maillot, G. Morin, F. Juillot, O. Bruneel, C. Casiot, G. Ona-Nguema, Y. Wang, Lebrun, S., Aubry, E., Vlais, G., Brown Jr., G.E., 2013. Structure and reactivity of As(III)- and As(V)- rich schwertmannites and amorphous ferric arsenate sulfate from the Carnoules acid mine drainage, France: comparison with biotic and abiotic model compounds and implications for As remediation. *Geochim. Cosmochim.* Vol. 104, pp 310–329, June 2013.

[23] P.A. O'Day, N. Rivera, R. Root, S.A. Carroll. X-ray absorption spectroscopic study of Fe reference compounds for the analysis of natural sediments. *Am. Mineral.* Vol. 89, pp 572–585, April 2004.

[24] A.L. Foster, C.S. Kim. Arsenic speciation in solids using X-ray absorption spectroscopy. *Rev. Mineral. Geochem.* Vol. 79, pp 257–369, September 2014.

[25] G.A. Waychunas, N. Xu, C.C. Fuller, J.A. Davis, J.M. Bigham. XAS study of AsO<sub>4</sub><sup>3-</sup> and SeO<sub>4</sub><sup>2-</sup> substituted schwertmannites. *Physica B* vol. 209, pp 481–483, March 1995.

[26] A.L. Foster, Jr. Brown, G.E., Tingle, T.N., Parks, G.A. Quantitative arsenic speciation in mine tailings using X-ray absorption spectroscopy. *Am. Mineral.* Vol. 83, pp 553–568, November 1998.

[27] G. Bia, M.G. Garcia, LBorgnino. Changes in the As solid speciation during weathering of volcanic ashes: a XAS study on Patagonian ashes

- and Chacopampean loess. *Geochim. Cosmochim. Vol. 212*, pp 119–132, September 2017.
- [28] D. Baron, C.D. Palmer. Solid-solution aqueous-solution reactions between jarosite ( $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ) and its chromate analog. *Geochim. Cosmochim. Vol. 66*, pp 2841–2853, August 2002.
- [29] J. Bigham, L. Carlson, E. Murad. Schwertmannite, a new iron oxyhydroxysulphate from Pyhasalmi, Finland, and other localities. *Mineral. Mag. Vol. 58*, pp 641–648, July 1994.
- [30] K. Fukushi, T. Sato, N. Yanase, J. Minato, H. Yamada. Arsenate sorption on schwertmannite. *Am. Mineral. Vol. 89*, pp 1728–1734, March 2004.
- [31] S.G. Johnston, E.D. Burton, A.F. Keene, Planer-Friedrich, B., Voegelin, A., Blackford, M.G., G.R. Lumpkin. Arsenic mobilization and iron transformations during sulfidization of As(V)-bearing jarosite. *Chem. Geol. Vol. 334*, pp 9–24, July 2012.
- [32] S. Deng, G. Gu, Xu, B., Li, L., Wu, B. Surface characterization of arsenopyrite during chemical and biological oxidation. *Sci. Total Environ. Vol. 626*, pp 349–356, June 2018.
- [33] D. Paktunc, J. Dutrizac, V. Gertsman. Synthesis and phase transformations involving scorodite, ferric arsenate and arsenical ferrihydrite: implications for arsenic mobility. *Geochim. Cosmochim. Vol. 72*, pp 2649–2672, June 2008.
- [34] D. W. Blowes and C.J Ptacek. *The Geochemistry of Acid Mine Drainage*. University of Waterloo, ON, Canada. Vol. 9; pp. 149–204, December 2003.
- [35] M.R. Kendall, A.S. Madden, M.E. Elwood Madden, Hub, O. Effects of arsenic incorporation on jarosite dissolution rates and reaction products. *Geochim. Cosmochim. Vol. 112*, pp 192–207, July 2013.
- [36] J. Song, S. Jia, B. Yua, S. Wua, Han, X. Formation of iron (hydr)oxides during the abiotic oxidation of Fe(II) in the presence of arsenate. *J. Hazard. Mater. Vol. 294*, pp 70–79, August 2015.
- [37] S.L Zhang, S.Y. Jia, Yu, B., Liu, Y., Wu, S.H., Han, X. Sulfidization of As(V)-containing schwertmannite and its impact on arsenic mobilization. *Chem. Geol. Vol 420*, pp 270–279, January 2016.
- [38] X Jiang, C. Penga, D. Fua, Z. Chena, L. Shenb, Q. Li. Removal of arsenate by ferrihydrite via surface complexation and surface precipitation. *Appl. Surf. Sci. Vol. 353*, pp 1087–1094, July 2015.
- [39] CAA Código Alimentario Argentino, 2007. Capítulo XII. Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificada. Artículo 982. Res Conj. SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007. Ley 18284. Buenos Aires, Marzocchi.
- [40] WHO World Health Organization, 2004. Guidelines for drinking — water quality. third ed. Recommendations vol. 1 (Geneva).



## **ALCANCES DE LA REVISTA**

La Revista de Tecnología y Ciencias Aplicadas (ReTyCA) es una publicación periódica de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca destinada a la difusión de investigaciones (comunicación científica, de experiencias de desarrollo y transferencia tecnológica) locales, nacionales e internacionales en el campo de la Tecnología, de las Ciencias Aplicadas y de Educación en Ciencias e Ingeniería.

Los autores interesados en publicar en la Revista, deberán enviar sus trabajos por correo electrónico a la dirección: [revistaftca@tecno.unca.edu.ar](mailto:revistaftca@tecno.unca.edu.ar) como archivo adjunto en formato electrónico tipo Word. El nombre debe ser de la forma:

Apellido-primer-autor\_Tres-Primeras-Palabras-del-Titulo

Por ejemplo: Perez\_Analisis del Medio.doc. Todas las comunicaciones con los autores (revisión y aceptación de artículos) se realizarán por correo electrónico.

Todos los trabajos deben confeccionarse siguiendo las normas que se estipulan en la sección “Instrucciones para los autores” para asegurar la uniformidad de la publicación.

La Revista no se hace responsable de la información, opiniones o juicios vertidos en los trabajos publicados, siendo los mismos de responsabilidad exclusiva de sus autores y no constituye toma de posición por parte de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca.

**EMAIL:** [revistaftca@tecno.unca.edu.ar](mailto:revistaftca@tecno.unca.edu.ar)

## **OBJETIVOS**

- Difundir trabajos originales que contribuyan al desarrollo de distintas áreas de las tecnologías, ciencias aplicadas, educación en ciencias e ingeniería y otras disciplinas relacionadas a las carreras que se dictan en la facultad.
- Fortalecer la investigación y la vinculación de entre comunidades nacionales e internacionales.

## **TIPO DE PUBLICACIÓN**

Publicación semestral en formato electrónico y en papel, pudiendo incorporarse en casos necesarios un número especial adicional.

## **PAUTAS DE PUBLICACIÓN:**

La revista publica trabajos originales de investigación básica y aplicada, de desarrollo tecnológico, revisiones bibliográficas de alto impacto, notas técnicas y, estudios de casos relevantes.

Todos los trabajos presentados para su publicación deberán responder a las distintas secciones que componen cada edición.

## **AREAS TEMÁTICAS:**

- Ingeniería y Tecnología
- Educación en Ciencias e Ingeniería
- Ciencias Naturales y Aplicadas

## **CONVOCATORIA**

La recepción de trabajos se encuentra abierta en forma permanente durante todo el año.

El Comité Editorial -previa consulta y evaluación por parte de integrantes del Comité Científico decidirá sobre la publicación del material presentado.

Todos los trabajos presentados, sean o no publicados, quedarán en poder de la Revista.

Para cualquier consulta, sugerencia o envío de material enviar mail a [revistaftca@tecno.unca.edu.ar](mailto:revistaftca@tecno.unca.edu.ar)

## **EVALUACIÓN**

Para asegurar la calidad de las publicaciones en la revista, los trabajos presentados serán evaluados en primera instancia por el Comité Editorial, analizando incumbencia y calidad general. Posteriormente, el Comité Científico realizará una evaluación de pertinencia y calidad científica del trabajo.

El Comité Editorial se reserva el derecho de rechazar el trabajo presentado por no estar relacionado con las temáticas de la revista, no poseer la calidad científica requerida o no cumplir con las normas de publicación. Asimismo, de ser necesario, podrá realizar modificaciones menores al trabajo, de edición o de formato, para una mejor publicación.

Los miembros del comité evaluador podrán realizar las siguientes observaciones o sugerencias:

- Aceptado sin modificaciones
- Aceptado con correcciones menores (no necesita una nueva evaluación)
- Aceptado con correcciones (necesita una nueva evaluación)
- No aceptado

El Comité Editorial notificará al autor el resultado de la evaluación de su trabajo y en caso de corresponder, le indicará las modificaciones que tiene que realizar para su publicación, las cuales deberán realizarse en el plazo de 30 días.

Los autores podrán solicitar aclaraciones sobre las correcciones. El Cuerpo Editorial decidirá sobre el particular, y realizará la revisión del trabajo modificado.

## **NORMAS DE PUBLICACION**

Ver “Instrucciones para los autores”.

Se terminó de imprimir en los Talleres Gráficos  
de la Editorial Científica Universitaria  
con un tiraje de 30 ejemplares  
Junio 2025



ISSN: 2524-9487